Ueber Abnützung und Dauer der Eisenbahnschienen.

Von
Franz Stockert,
Centralinspector der a. priv. Kaiser Ferdinands-Nordbahn.

(Mit Zeichnungen auf Blatt P und Q.))*

(Schluss.)

4. Bestimmung des Werthes der Schienen.

Die elliptische Form der Abnützungslinie der Schienen macht es demnach möglich, das Bruttogewicht zu berechnen, welches bis zur gänzlichen Zerstörung aller in einer Bahnstrecke liegenden Schienen über dieselben transportirt werden kann.

Wird die Anzahl der in den aufeinander folgenden Perioden in der Bahn liegenden Schienen ausgedrückt durch

$$b,\ b-y,\ b-y_1,\ b-y_2 \text{ etc.,}$$

und bezeichnen

$$x,\ x_1,\ x_2,$$

die über diese Schienen bis zum Schlusse jeder Periode transportirten Gesammt-Bruttolasten, so ist der Gesammt-Nutzeffect aller ursprünglich in die Bahn gelegten Schienen

$$F = f + f_1 + f_2 + \ldots\ldots = \frac{a\,b\,\pi}{4},$$

wobei

$$f = [b + (b-y)]\,\frac{x}{2},$$

$$f_1 = [(b-y) + (b-y_1)]\left(\frac{x_1 - x}{2}\right),$$

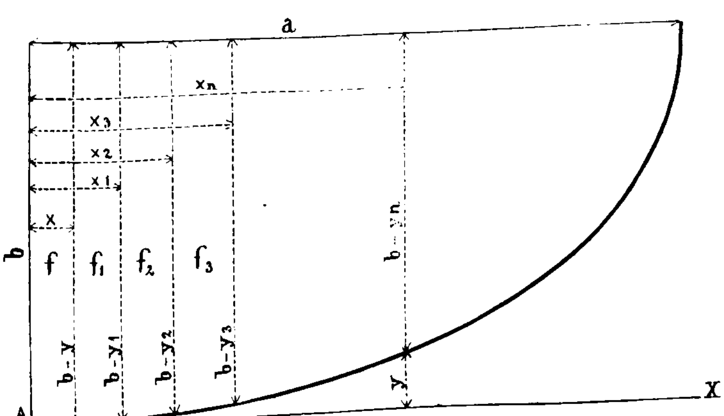
$$f_2 = [(b-y_1) + (b-y_2)]\left(\frac{x_2 - x_1}{2}\right)$$

etc. etc.

Aus der Form der Ellipse ergibt sich, dass in der letzten Benützungsperiode die Zahl der noch in der Bahn liegenden Schienen sehr rapid abnimmt.

Dies ist auch die Hauptursache, dass, wie früher erwähnt wurde, die Beobachtungsresultate in der letzten

Fig. 2.



Zeit häufig und zum Theile grosse Abweichungen zeigen. Aber wegen der raschen Abnahme der Ausnützungsfähigkeit der in der letzteren Zeit noch in der Bahn liegenden Schienen sind allfällige Fehler auch von keinem Belange. Wenn beispielsweise schon 50 Procent Schienen aus der Bahn entfernt wären, so sind, weil dann $y = \frac{b}{2}$, also $x = 86{\cdot}6\,a$ ist, bereits 86·6 Procent der gesammten Bruttolast über sämmtliche Schienen gegangen, welche die Zerstörung aller Schienen herbeiführen würde. Ueber 50 Procent aller noch in der Bahn liegenden Schienen, welche überdies noch in rascher Abnahme begriffen sind, passiren also nur 13·4 Procent der ganzen Bruttolast, so dass, weil der durch die Ordinate von 50 abgetrennte Theil der Fläche der Ellipse nur der 17. Theil der Fläche der ganzen Ellipse ist, der Nutzeffect der letzten 50 Procent nur den 17. Theil der Gesammtleistung aller Schienen ausmacht.

Hieraus ist zu ersehen, dass, nachdem die eingelegten Ersatzschienen doch nie genau mit den in der Bahn liegenden Schienen zusammenpassen und dadurch beide Schienen schneller zerstört werden, es sich nicht empfiehlt, eine solche Bahnstrecke durch Einlegung von Ersatzschienen noch länger erhalten zu wollen, sondern dass es zweckmässiger ist, die Auswechslung aller Schienen vorzunehmen, wenn bereits 50 Procent der ursprünglich eingelegten Schienen unbrauchbar geworden sind.

Nachdem vom Nutzeffect der Schienen aber der Werth derselben abhängig ist, so ist man dadurch in die Lage versetzt, nach verhältnissmässig kurzer Benützung der Schienen den Werth derselben berechnen zu können, wenn die bewegte Bruttolast und die Zahl der durch diese Bruttolast unbrauchbar gewordenen Schienen in einer Bahnstrecke bekannt sind.

Will man den Ausnützungswerth (Ankaufswerth abzüglich des Altmaterialwerthes) mehrerer Schienengattungen, welche unter sonst gleichen Verhältnissen benützt werden, unter einander vergleichen, so wird, da derselbe dem Nutzeffecte proportional ist, und da der Nutzeffect einer Schienengattung $F = \frac{\pi.a.b}{4}$, jener einer anderen $F_1 = \frac{\pi.a_1.b_1}{4}$, und weil $b = b_1 =$ der Gesammtzahl der in der Bahn liegenden Schienen in Procenten ausgedrückt $= 100$ ist: $F : F_1 = a : a_1$ sich verhalten, d. h. der Nutzeffect der Schienen ist der Bruttolast proportional, durch welche die sämmtlichen in der Bahn liegenden Schienen zerstört werden.

5. Einfluss der Anlage-Verhältnisse einer Bahn auf die Schienenzerstörung.

Der Vergleich der Ausnützungsfähigkeit verschiedener Schienengattungen nach der darüber transportirten Bruttolast ist nur dann zulässig, wenn alle anderen auf die Zerstörung der Schienen einwirkenden Umstände gleich sind, also bei gleichen Steigungs- und Richtungsverhältnissen, bei gleicher durchschnittlicher Radbelastung und wenn insbesondere die Schienen nicht durch die Bremsen der Fahrzeuge mehr oder weniger in Anspruch genommen werden.

Die Bewerthung des Einflusses der Anlageverhältnisse der Bahn auf die frühere oder spätere Zerstörung der Schienen ist mit grossen Schwierigkeiten verbunden, und wenn es versucht wird, hier bestimmte Coëfficienten dafür anzugeben, so werden diese eben nur als Annähe-

*) Siehe Heft XIII.

rungszahlen anzusehen sein, welche erst durch sorgfältige statistische Nachweisungen der Wirklichkeit näher gebracht werden müssen.

a) Einfluss der Steigungsverhältnisse.

In den durch die graphischen Darstellungen (Fig. 1, 2, 4, 5) ersichtlich gemachten statistischen Nachweisungen erscheinen 4 Bahnstrecken mit Schienen gleicher Lieferung gleichzeitig in Benützung genommen. Während auf den durch Fig. 1, 2 und 4 dargestellten Bahnstrecken, welche eine Maximalsteigung von nur 1 : 300 haben, sich bis zur gänzlichen Zerstörung aller Schienen eine Ausnützungsfähigkeit (*a*) von 400—500 Millionen Brutto-Centnern ergeben hat, wird dieselbe auf der durch Fig. 5 dargestellten Bahnstrecke, welche Steigungen bis zu 1 : 150 hat, nach den bisherigen Erfahrungen nicht mehr als 240 Millionen Brutto-Centner betragen, und während auf den durch Figuren 3, 6, 7 und 8 dargestellten Bahnstrecken mit Maximalsteigungen von 1 : 300 die Schienen aus einem anderen Eisenwerke eine Ausnützungsfähigkeit (*a*) von 360 bis 430 Millionen Brutto-Centnern ergeben haben, werden dieselben Schienen auf der durch Fig. 9 ersichtlich gemachten Bahnstrecke mit Steigungen bis zu 1 : 150 nur eine Ausnützungsfähigkeit von 280 Millionen Brutto-Centnern erreichen.

Es könnte der grosse Unterschied wohl auch durch andere Einflüsse herbeigeführt worden sein; allein sowohl die Richtungsverhältnisse als auch der Einfluss der Radbelastung sind auf der durch Fig. 5 und 9 dargestellten Strecke günstiger als auf den anderen durch Fig. 1 bis 4 und Fig. 6 bis 8 dargestellten Bahnstrecken, und muss also die grössere Inanspruchnahme, und somit kürzere Dauer der Schienen ausschliesslich den ungünstigen Steigungsverhältnissen dieser Strecke zugeschrieben werden.

Nach den bisherigen, aus den statistischen Nachweisen der Nordbahn geschöpften Erfahrungen, welche sich bei den günstigen Anlageverhältnissen der Nordbahn nur zwischen Steigungen von 1 : 1000 bis 1 : 150 bewegen, kann der Einfluss der Steigungen auf die Zerstörung der Schienen durch nachstehende Coëfficienten ausgedrückt werden.

Steigungs-verhältnisse	Procente	Steigungs-Coëfficient	Steigungs-verhältnisse	Procente	Steigungs-Coëfficient
1 : 1000	0·100	0·280	1 : 500	0·200	0·560
1 : 900	0·111	0·310	1 : 400	0·250	0·700
1 : 800	0·125	0·350	1 : 300	0·333	0·930
1 : 700	0·143	0·400	1 : 250	0·400	1·120
1 : 600	0·166	0·470	1 : 200	0·500	1·400
			1 : 150	0·666	1·870

Wenn ein Vergleich über den Werth von Schienen, welche auf einer Steigung, mit solchen, welche auf einer horizontalen Strecke unter sonst gleichen Verhältnissen in Anspruch genommen werden, vorgenommen werden wollte, so müsste die Bruttolast, welche auf der Steigung bewegt wurde, nach den angegebenen Coëfficienten vermehrt werden, z. B. auf einer Steigung von 1 : 500 um 0·560, und es würden 150 Millionen Brutto-Centner auf einer Steigung 1 : 500 bewegt, die gleiche Wirkung ausüben, wie 234 Millionen Centner auf einer horizontalen Bahn.

Der nachtheilige Einfluss auf einem Gefälle gegenüber von horizontalen Strecken dürfte wohl zunächst nur von der Benützung der Bremsen und von der grösseren Geschwindigkeit herrühren, mit welcher im Allgemeinen auf dem Gefälle gefahren wird.

So lange die Benützung der Bremsen nicht nothwendig wird, nämlich ungefähr bis zum Gefälle von 1 : 280, ist in Bezug auf Schienenabnützung die geneigte Strecke der horizontalen gleichzuhalten, vorausgesetzt, dass die Geschwindigkeit von der Durchschnittsgeschwindigkeit nicht wesentlich abweicht.

Für stärkere Gefälle jedoch haben sich aus den statistischen Nachweisungen folgende Coëfficienten ergeben:

Gefälls-verhältniss	Procente	Gefälls-Coëfficient
1 : 250	0·400	0·120
1 : 200	0·500	0·400
1 : 150	0·666	0·870

In welchem Maße sich die Schienenabnützung bei grösserem Gefälle als 1 : 150 steigert, darüber liegen keine Erfahrungen vor, und nachdem diese Schienenabnützung jedenfalls vom Bremsen der Räder herrührt, die Handhabung der Bremsen aber von vielen, zum Theil localen Verhältnissen abhängt, übrigens der Umstand, ob durch die Bremsen die Räder ganz zum Stillstand gebracht werden, oder noch rotiren von höchstem Einflusse auf die grössere oder mindere Schienenabnützung ist, so dürfte es wohl schwierig sein, für stärkere Gefälle einen annähernd richtigen Coëfficienten zu finden.

b) Einfluss der Curven.

Ein anderer auf die Schienenzerstörung wesentlich einwirkender Factor sind die Richtungsverhältnisse einer Bahnstrecke. Es ist bekannt, dass mit der Abnahme des Krümmungsradius die Schienenabnützung sich steigert.

Wenn auch der nachtheilige Einfluss der Curven durch die Ueberhöhung des äusseren Schienenstranges und durch die Erweiterung des Geleises herabgemindert wird, so wird die erstere doch nur bei einer bestimmten Geschwindigkeit den nachtheiligen Einfluss auf ein Minimum reduciren, während bei einer grösseren oder kleineren Geschwindigkeit, als jene ist, welche der Berechnung der Ueberhöhung zu Grunde lag, der nachtheilige Einfluss auf den äusseren oder inneren Schienenstrang erhöht wird.

Desgleichen wird die angewendete Erweiterung nur bei einem bestimmten Radstand den nachtheiligen Einfluss möglichst herabmindern, während jeder grössere Radstand die Schienenabnützung wieder vermehren wird.

Nach den bei der Nordbahn, ihrer günstigen Anlageverhältnisse wegen, in sehr engen Grenzen liegenden Erfahrungen kann der Einfluss der Curven nachstehend beziffert werden:

bei Radien	von	1000	Klaftern	ein	Coëfficient	von	0·15
„	„	„	900	„	„	„	„	0·17
„	„	„	800	„	„	„	„	0·19
„	„	„	700	„	„	„	„	0·21
„	„	„	600	„	„	„	„	0·25
„	„	„	500	„	„	„	„	0·30
„	„	„	400	„	„	„	„	0·38
„	„	„	300	„	„	„	„	0·50
„	„	„	200	„	„	„	„	0·75

d. h. in einer Curve würde irgend eine transportirte Bruttolast die gleiche Wirkung auf die Schienen äussern, wie eine um diesen Coëfficienten vermehrte Bruttolast auf der geraden Bahn.

c) Einfluss der Einschnitte.

Auch in den Einschnitten findet unter sonst gleichen Verhältnissen eine grössere Schienenzerstörung, also kürzere Schienendauer statt, als auf Dämmen. Die Ursache dieser Erscheinung ist wohl nur darin zu suchen, dass die Wasserableitung in den Einschnitten nie so vollständig ist wie auf den Dämmen, und mindestens die Austrocknung nicht in gleichem Masse stattfindet. In Folge dessen haben im Winter, wenn der Frost eindringt, die Schwellen eine unelastische Unterlage, und wird dadurch die Schienenzerstörung befördert.

Nach den bei der Kaiser Ferdinands-Nordbahn gemachten Erfahrungen beziffert sich dieser Einfluss auf 0·06 der transportirten Bruttolast, und wird ohne Zweifel bei der besseren oder schlechteren Trockenlegung der Einschnitte der Coëfficient kleiner oder grösser sein.

Weit entfernt, glauben zu wollen, dass die hier angegebenen Coëfficienten ganz genau sind, muss vielmehr erwartet werden, dass dieselben erst durch langjährige sorgfältige Beobachtung richtig gestellt werden.

Nach den hier angegebenen Coëfficienten wird es nun möglich sein, für jede Bahnstrecke mit Berücksichtigung der Steigungs-, Gefälls- und Richtungsverhältnisse und der Einschnitte den entsprechenden Strecken-Coëfficienten zu ermitteln, welcher bei der Bewerthung der Schienen berücksichtiget werden muss, um einen Vergleich mit auf verschiedenen Strecken liegenden Schienen zu ermöglichen.

6. Einfluss der Radbelastungen.

Nach den bisher angegebenen Factoren, welche auf die längere oder kürzere Schienendauer von Einfluss sind, ist noch die Radbelastung von grösster Wichtigkeit. Dieselbe Bruttolast auf eine kleinere Zahl von Rädern vertheilt, wird unter sonst gleichen Bedingungen eine schnellere Zerstörung der Schienen herbeiführen, als wenn sie auf eine grössere Anzahl von Rädern vertheilt wird. Ein glücklicher Zufall hat bei der Kaiser Ferdinands-Nordbahn höchst interessante Beobachtungen und Schlussfolgerungen ermöglicht. Es wurde nämlich auf der doppelgeleisigen Bahnstrecke Bisenz-Hradisch von 1·7 Meilen Länge innerhalb einiger Monate im Jahre 1863 der Oberbau beider Geleise mit Schienen von derselben Lieferung hergestellt. Die Bahnstrecke ist gerade, also unabhängig von den Richtungsverhältnissen und hat beinahe keine Einschnitte, so dass für die Bestimmung der Strecken-Coëfficienten nur die Steigungs- und Gefällsverhältnisse massgebend sind.

Werden mit Rücksicht auf das Vorhergehende die Strecken-Coëfficienten ermittelt, so ergibt sich für die Richtung von Wien der Strecken-Coëfficient mit 1·41, und für die Richtung nach Wien mit 1·11.

Der Umstand, dass die Bahn nach beiden Richtungen gegen die Station steigt, bedingt es, dass die Züge beinahe ohne jeder Inanspruchnahme der Bremsen in die Station einfahren, daher auch hiervon die Schienenabnützung nahezu unabhängig ist. Trotzdem zeigte sich auf demjenigen Geleise (Richtung nach Wien), welches den günstigeren Strecken-Coëfficienten nachweist, eine bedeutend grössere Schienenabnützung als auf dem Geleise, welches den ungünstigeren besitzt (Richtung von Wien). Die Zahl und Gattung der Fuhrwerke ist auf beiden Geleisen gleich, indem jede Locomotive und jeder Wagen auf dem anderen Geleise zurückkehrt.

Zunächst wurde die grössere Schienenabnützung auf dem einen Geleise dem Umstande zugeschrieben, dass auf demselben mehr Bruttolast geführt wird. Der Unterschied würde jedoch nur eine grössere Abnützung im Verhältniss von 148 : 206 oder 100 : 139 rechtfertigen, während die Zahl der schadhaften Schienen bis zum Monat Juli 1870, also nach siebenjähriger Benützung auf dem einen Geleise 0·69 Procent, auf dem anderen Geleise 4·23 Procent der verlegten Schienen betrug, also ein Verhältniss von 100 : 613 ergab. Nachdem auf dem später erbauten Geleise die grössere Schienenabnützung stattfindet, so glaubte man diese auch den Setzungen des Unterbaues zuschreiben zu müssen, obschon dies deshalb wenig Wahrscheinlichkeit für sich hatte, weil der Unterbau dieses Geleises mehrere Jahre vollendet war, bevor der Oberbau darauf gelegt wurde. Nachdem aber das Verhältniss nach mehreren Benützungsjahren nicht nur gleich blieb, sondern sich sogar sehr ungünstig steigerte, so musste wohl die auffallend grössere Schienenabnützung einer anderen Ursache zugeschrieben werden, und lässt sich dieselbe nur auf die grössere Radbelastung zurückführen.

Aus den graphischen Darstellungen, Fig. 11 und 12, ist die beförderte Bruttolast, und sind die successiven, aus der Bahn entfernten Schienen dieser Bahnstrecken zu ersehen. Es ist ferner zu entnehmen, dass sich für das eine Geleise unter Zugrundelegung der beförderten Bruttolast und der ausgewechselten Schienen die Gesammtausnützungsfähigkeit (a) aller Schienen mit 617, während sie sich für das zweite Geleise auf 1164 Millionen Brutto-Centner berechnet, oder mit Einrechnung der Strecken-Coëfficienten auf 685 und 1610 Millionen Brutto-Centner. Wenn nun die Radbelastung (dieselbe betrug in der Richtung von Wien durchschnittlich 36·8 Zoll-Centner, und in der Richtung nach Wien durchschnittlich 57·0 Zoll-Centner), und zwar immer entsprechend der gleichen über das Geleise beförderten Bruttolast mit berücksichtigt wird, so ergibt sich, **dass die Differenz bei gleicher beförderter Bruttolast umgekehrt dem Quadrate der Radbelastung entspricht.** Wenn daher nach der angegebenen Formel die für die Gesammtausnützung der Schienen berechnete und durch den Strecken-Coëfficienten rectificirte Bruttolast a in quadratischem Verhältniss zur grösseren Radbelastung vermehrt wird, so zeigt sich eine beinahe vollkommene Uebereinstimmung der Resultate.

Aus den graphischen Darstellungen ist zu ersehen, dass auf den beiden Geleisen bei 53 und 55 Millionen Centner wirklich beförderter Bruttolast ohne Rücksicht der wirklich stattgefundenen mittleren Radbelastung und ohne Rücksicht auf die Strecken-Coëfficienten $a = 381$ und $a_1 = 786$ Millionen Brutto-Centner; mit Rücksicht der Radbelastung und des Strecken-Coëfficienten

$$a = 381 \times 1{\cdot}11 \times \left(\frac{57{\cdot}0}{50}\right)^{2\,*)} = 550,$$

und

$$a_1 = 786 \times 1{\cdot}41 \times \left(\frac{36{\cdot}8}{50}\right)^{2} = 600 \text{ Millionen}$$

Brutto-Centner ergibt.

Bei 77 und 78 Millionen beförderter Last auf den entsprechenden Geleisen ist ohne Rücksicht der Strecken-Coëfficienten und Radbelastung $a = 538$ und $a_1 = 1025$ Millionen Centner, mit Berücksichtigung der Radbelastung und des Strecken-Coëfficienten $a = 776$ $a_1 = 783$

bei 107 Millionen Centnern auf je einem Geleise ist . . . $a = 629$ $a_1 = 1230$

mit Berücksichtigung der Radbelastung und des Strecken-Coëfficienten ist . . . . $a = 908$ $a_1 = 940$

bei 145 und 148 Millionen beförderten Centnern ist ohne Berücksichtigung der Radbelastung . . . . . . $a = 700$ $a_1 = 1262$

mit Berücksichtigung derselben $a = 1010$ $a_1 = 964$

Es ist daraus zu ersehen, welch' bedeutenden Einfluss auf die längere oder kürzere Schienendauer unter sonst gleichen Verhältnissen die Radbelastung ausübt, und dass dieselbe nicht unberücksichtigt bleiben darf, soll man nicht zu ganz falschen Urtheilen über die Qualität der Schienen gelangen.

Die bis jetzt angeführten Gesetze gelten nur für die aus Lamellen erzeugten Schienen.

7. Schlussfolgerungen.

Nach den vorhergehenden Erörterungen liegt die Frage nahe, ob und welcher practische Nutzen aus den mitgetheilten Erfahrungen geschöpft werden kann? Ohne Zweifel ist es schon ein Vortheil, die Einflüsse, welche die Zerstörung der Schienen herbeiführen, beurtheilen und bemessen zu können. Es ist unmöglich, den ökonomischen Werth eines Schienenprofiles, des verwendeten Materiales, einer neuen Oberbauconstruction, die Zulässigkeit einer Gewichtsverminderung der Schienen richtig beurtheilen zu können, wenn die Einflüsse auf die grössere oder mindere Ausnützungsfähigkeit derselben nicht beziffert werden können.

Die genaue Kenntniss der Wechselwirkung zwischen Schienenabnützung und der bewegten Bruttolast ermöglicht es, den Werth der verwendeten Schienen beurtheilen zu können; sie setzt uns in den Stand, die Grenze zu bestimmen, bis zu welcher eine Gewichtsvermehrung der Fuhrwerke getrieben werden kann, ohne die dadurch gewonnenen Vortheile durch die vermehrte Schienenabnützung zu paralisiren? Bei genauer Kenntniss der successiven Zerstörung der Schienen durch die darüber transportirte Bruttolast kann man den Bedarf an Schienen für eine bestimmte Zeit im Vorhinein berechnen, wenn die Bruttolast bekannt ist, die in dieser Zeit befördert werden soll. Es ist also möglich, für eine bestimmte Zeit ein genaues Präliminare für den Schienenbedarf zu verfassen. Bisher fehlte dafür beinahe jeder Anhaltspunkt. Wenn der nächstvorjährige Bedarf zum Massstab genommen wurde, so war das Präliminare falsch, weil der Verbrauch ein steigender und nicht nur ein regelmässig progressiv steigender ist.

Bei kleinen Bahnen wird daraus wohl keine Verlegenheit erwachsen; allein bei Bahnen von grossem Umfange, wo der Schienenverbrauch ein bedeutender ist, kann ein Irrthum von 10 bis 15 Procent des Bedarfes grosse Verlegenheiten bereiten, weil es nicht jederzeit leicht möglich ist, den Mehrbedarf schnell herbeizuschaffen.

Mit Hilfe der ermittelten Formel kann, wenn einmal die Achse a berechnet ist und x die bisher über die Bahn transportirte Last, n jene, welche in der Zeit befördert werden soll, für welche das Schienenbedarfs-Präliminare zu machen ist, y die durch die Bruttolast x zerstörten Schienen in Procenten ausgedrückt, y_1 dieselbe für die Last $x + n$, so ist

$$a = \frac{100\,x}{\sqrt{y\,(200 - y)}}$$

und

$$a = \frac{100\,(x + n)}{\sqrt{y_1\,(200 - y_1)}}.$$

Aus diesen beiden Gleichungen ergibt sich sehr leicht

$$y_1 = 100 - \sqrt{100^2 - \left(1 + \frac{n}{x}\right)^2 (200 - y)\,y}$$

und

$$y_1 - y = (100 - y) - \sqrt{100^2 - \left(1 + \frac{n}{x}\right)^2 (200 - y)\,y},$$

und es ist dieses $y_1 - y$, in Procenten ausgedrückt, die Anzahl der Schienen, welche durch die Bruttolast n zerstört werden, oder der Schienenbedarf in Procenten für die Zeit, welcher die Bruttolast n entspricht.

Das wichtigste Resultat der mitgetheilten Erfahrungen ist aber der Nachweis der vollständigen Unzulänglichkeit der bisher beinahe allgemein angewendeten Garantieleistung für die gute Qualität der Schienen. Ueberall übernehmen die liefernden Eisenwerke die Haftung für die gute Qualität dadurch, dass sie innerhalb einer vereinbarten Haftzeit (gewöhnlich 2 — 3 Jahre) alle schadhaften Schienen durch neue ersetzen oder dafür Ersatz leisten. In vielen Fällen

*) Wobei 50 Zoll-Centner die angenommene normale Radbelastung ist.

ist über ein bestimmtes Procent noch ein Pönale vereinbart, welches aber sehr klein, jedenfalls nicht in richtigem Verhältnisse zu dem durch die schlechte Qualität der Schienen verursachten Schaden ist. Diese Garantieleistung setzt voraus und wäre richtig, wenn nur die schadhaft gewordenen Schienen der bedungenen Qualität nicht entsprechen würden, alle anderen Schienen aber die bedungene Qualität hätten.

Recht auffallend geht dies alles aus nachstehender Betrachtung hervor:

Ist allgemein N der Neuwerth per Centner Schienen (z. B. 8 fl.) und A der Altwerth per Centner Schienen (z. B. 3 fl. 50 kr.), so ist, wenn die Schienen der bedungenen Qualität entsprechen,

$$(N - A)$$

der Ausnützungswerth per Centner Schienen.

Wenn ferner nach den jetzigen Schienen-Lieferungsbedingnissen n Procent Schienen schadhaft werden, so verliert das liefernde Werk, weil es die schadhaften Schienen zurückerhält,

$$n\,(N - A),$$

oder in Procenten des Ankaufswerthes der gesammten Schienen

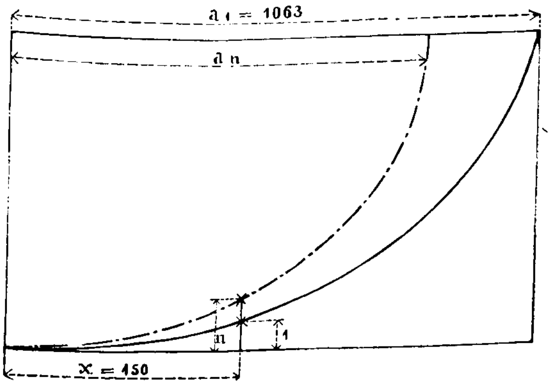
$$\frac{n\,(N - A)}{N}$$

Procent.

Der Verlust dagegen, welcher der Bahn aus einer schlechteren als der bedungenen Schienenqualität erwächst, ist bedeutend grösser als der soeben angegebene Verlust, den das Werk erleidet, und kann derselbe auf folgende Weise ermittelt werden:

Entsprechen die Schienen der bedungenen Qualität, z. B. der Bedingung, dass bei 150 Millionen transportir-

Fig. 3.



ter Bruttolast nur 1 Procent schadhaft werden, so ist nach dem bereits Bekannten:

$$a_1 = 1063$$

Millionen Brutto-Centner und der Ausnützungswerth der Schienen, weil die bedungene Qualität vorhanden war:

$$N - A.$$

Sind aber die Schienen von schlechterer Qualität, werden z. B. n Procent Schienen schadhaft, so ist

$$a_n = \frac{15000}{\sqrt{n\,(200 - n)}}.$$

In demselben Verhältniss nun, als a_n kleiner ist als a_1, wird auch der Ausnützungswerth kleiner. Derselbe ist nämlich bei der minderen Qualität

$$= (N - A)\frac{a_n}{a_1}$$

$$= \frac{15000}{1063\sqrt{n\,(200 - n)}}\,.\,(N - A).$$

Addirt man noch den Altwerth der Schienen, so ergibt sich der wirkliche Werth derselben für die Bahn mit

$$\frac{15000}{1063\sqrt{n\,(200 - n)}}\,.\,(N - A) + A.$$

Wird dieser wirkliche Werth von dem Neuwerth N in Abzug gebracht, so ergibt sich ein Minderwerth jeder Schiene von

$$(N - A)\left[1 - \frac{15000}{1063\sqrt{n\,(200 - n)}}\right],$$

oder in Procenten des Ankaufswerthes der Schienen:

$$\frac{100\,(N - A)}{N}\left[1 - \frac{15000}{1063\sqrt{n\,(200 - n)}}\right]$$

Procent.

Wird nun beispielsweise der Neuwerth der Schienen per Centner mit 8 fl., der Altwerth mit 3 fl. 50 kr. beziffert, so ergeben sich aus den abgeleiteten Formeln folgende Resultate:

Schadhafte Schienen in Procenten der Gesammtlieferung n%	Ellipsenachse $a_n = \frac{15000}{\sqrt{n\,(200-n)}}$	Ausnützungswerth $\frac{15000}{1063\sqrt{n\,(200-n)}}(N-A)$		Wirklicher Werth der Schienen $\frac{15000\,(N-A)}{1063\sqrt{n\,(200-n)}} + A$		Minderwerth der Schienen für die Eisenbahn $\frac{100\,(N-A)}{N}\left[1 - \frac{15000}{1063\sqrt{n\,(200-n)}}\right]$	Ersatz des Werkes nach den bisherigen Lieferungsbedingnissen $\frac{n\,(N-A)}{N}$
		fl.	kr.	fl.	kr.	in Procenten d. Ankaufswerthes sämmtlicher Schienen	
1	1063	4	50	8	—	0	0·56
2	754	3	19	6	69	16·38	1·13
3	617	2	61	6	11	23·61	1·69
4	536	2	27	5	77	27·87	2·25
5	480	2	03	5	53	30·88	2·81
10	344	1	46	4	96	38·00	5·63
15	285	1	21	4	71	41·12	8·44
20	250	1	06	4	56	43·00	11·27

Es sind die Fälle nicht gar so selten, dass gegenüber dem bedungenen einem Procente in der vereinbarten Haftzeit schadhafte Schienen bis zu 20 Percent vorkommen. Aus der Differenz des wirklichen Minderwerthes und dem Ersatz, welchen das liefernde Eisenwerk nach der bisherigen Gepflogenheit leistet, ist der Nachtheil leicht zu entziffern, welcher für die Bahn erwächst. Es ist daraus zu ersehen, welch' grosse Verluste den Bahnen aus der Unkenntniss der successiven Abnahme des Werthes bei der schlechten Qualität der Schienen erwachsen, wobei jene Verluste nicht inbegriffen sind, welche bei einer früher herbeigeführten Auswechslung der Schienen an Arbeit, Schwellen, Schrauben und Nägeln herbeigeführt werden, und ebenso nicht der nachtheilige Einfluss auf die Fahrbetriebsmittel und die Sicherheit des Verkehrs.

Bei dem bedeutenden Capitalsaufwande, den Jahr für Jahr die Schienen für die Eisenbahnen beanspruchen, sind diesen und somit auch dem Nationalvermögen kaum übersehbare Verluste erwachsen. Es ist daraus zu entnehmen, dass es ein grosser Fehler sein kann, ohne Rücksicht auf die Qualität blos eine kleine Preisdifferenz als massgebenden Factor für die Entscheidung anzusehen, aus welcher Quelle die Schienen bezogen werden. Es kann geradezu ein Fehler sein, den Schienenpreis durch Concurrenzen herabzudrücken, und so die Eisenwerke zu verleiten, die Qualität zu verschlechtern, so lange kein Mittel gegeben war, die bedungene gute Qualität der Schienen zu controlliren, und wenn sie nicht eingehalten wurde, die Bahnen für die schlechte Qualität schadlos zu halten.

Die vorstehenden Erfahrungssätze geben die Mittel an die Hand, wenigstens bei den aus Lamellen erzeugten, also den Eisen- und Puddelstahlschienen, die Bahnen bei schlechter Qualität der Schienen schadlos zu halten.

Richtig wäre es, den Schienenpreis immer erst nach der Ausnützungsfähigkeit der Schienen zu bemessen. Bei dem bedeutenden Einflusse, den die Anlageverhältnisse und die Radbelastung auf die Ausnützungsfähigkeit der Schienen haben, würde aber auch das liefernde Eisenwerk ohne Rücksicht auf dieselbe sehr benachtheiligt werden können. Die Leistung des Eisenwerkes muss sich daher auf bestimmte Anlageverhältnisse der Bahn und eine durchschnittliche Radbelastung beziehen. Die innerhalb der vereinbarten Haftpflicht transportirte Bruttolast muss, wenn andere als die vereinbarten Anlageverhältnisse und eine abweichende mittlere Radbelastung vorkommen, entsprechend rectificirt werden. Aus dieser rectificirten Bruttolast und den aus der Bahn wegen Schadhaftigkeit entfernten Schienen wird die Gesammt-Ausnützungsfähigkeit der Schienen berechnet, und aus dem Verhältniss der bedungenen Leistung zur berechneten und den vereinbarten Preisen der neuen und alten Schienen wird sich die Werthdifferenz leicht berechnen lassen. Es wird wiederholt darauf aufmerksam gemacht, dass immer erst nach längerer Zeit der Benützung, wenn die mit Fabricationsmängeln behafteten Schienen aus der Bahn entfernt sind, richtige Resultate zu erwarten sind.

Dieser letztere Umstand wird übrigens, wenn die liefernden Eisenwerke den nachtheiligen Einfluss solcher Schienen auf das Gesammtresultat erst kennen werden, Veranlassung sein, dass dieselben selbst jede Schiene von der Lieferung ausschliessen, welche solche Mängel hat.

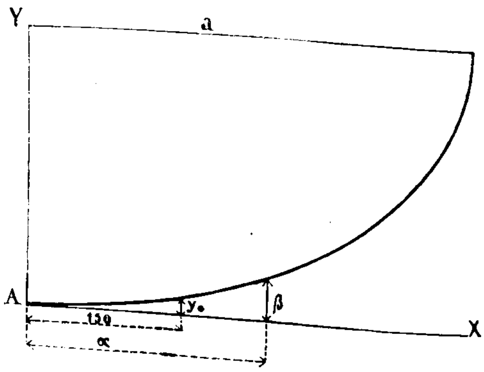
Die Lieferungsbedingungen würden sich am richtigsten auf die Beförderung einer bestimmten Bruttolast auf horizontaler gerader Bahn, bei Dämmen bei einer mittleren Radbelastung, z. B. von 50 Centnern, beziehen, und muss, nachdem diese Verhältnisse in Wirklichkeit nicht vorkommen, die entsprechende Reduction nach Ablauf der Haftpflicht zur Beurtheilung der Erfüllung derselben vorgenommen werden.

Die beförderte Bruttolast, die Zahl der schadhaften Schienen, und selbst die durchschnittliche Radbelastung müssen aus den Rechnungsabschlüssen der Bahn entnommen werden und die Bruttolast noch überdies nach dem jedesmaligen Strecken-Coëfficienten und der Radbelastung reducirt werden, und daher wird es in der Regel der Fall sein, dass man die während der Haftzeit schadhaft gewordenen Schienen nur bei einer reducirten Bruttolast kennt, welche grösser oder kleiner als die vorgeschriebene, z. B. von 150 Millionen Brutto-Centnern ist.

In diesem Falle muss aus den bekannten Angaben die der normalen Bruttolast von den angenommenen 150 Millionen Brutto-Centnern entsprechende Schienenauswechslung ermittelt werden, was auf folgende Weise zu geschehen hat:

Es sei m die auf einer Strecke wirklich beförderte Bruttolast in Millionen Zoll-Centnern, s der entsprechende Strecken-Coëfficient, r die normale Radbelastung von 50 Zoll-Centnern, r_1 die wirklich vorhanden gewesene, aus dem Rechnungsabschlusse entnommene Radbelastung, so ist nach dem bereits Angeführten die auf eine normale Strecke reducirte Last $\alpha = m s \left(\frac{r_1}{r}\right)^2$. Sei ferner unter diesen Umständen die Auswechslung $= \beta\%$ gewesen, so frägt es sich,

Fig. 4.



wie gross wäre im vorliegenden Falle die Auswechslung (y_0) bei einer reducirten Bruttolast von 150 Millionen Centnern gewesen.

Der Coëfficient für die Qualität der Schienen ist, wie früher gezeigt wurde, allgemein

$$a = \frac{100\,x}{\sqrt{y\,(200 - y)}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1),$$

daher ist derselbe für die zusammengehörigen Werthe

$$\begin{cases} \alpha \\ \beta \end{cases}, \quad a = \frac{100\,\alpha}{\sqrt{\beta\,(200 - \beta)}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 2),$$

und ebenso für die zusammengehörigen Werthe

$$\begin{cases} 150 \\ y_0 \end{cases}, \quad a = \frac{100 \times 150}{\sqrt{y_0\,(200 - y_0)}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 3).$$

Aus den Gleichungen 2 und 3 ergibt sich nun leicht durch eine einfache Reduction:

$$y_0 = 100 - \sqrt{10000 - \frac{(150)^2\,\beta\,(200 - \beta)}{\alpha^2}},$$

wobei statt α der Werth $m s \left(\frac{r_1}{r}\right)^2$ substituirt werden muss.

Dieses y_0 ist nun jene Auswechslung, welche bei der Bestimmung eines etwaigen Pönales massgebend ist. Ist y_0 kleiner als 1 Procent, so entsprechen die Schienen der geforderten Qualität, und ist ein Pönale nicht zu verlangen.

Eigentlich sollte nun das liefernde Werk die volle Differenz des bedungenen und wirklichen Werthes der Schienen ersetzen.

So lange aber namentlich die Rectifications-Coëfficienten für die Anlageverhältnisse und selbst für die Radbelastung noch nicht vollkommen sicher gestellt sind, ferner mit Rücksicht, dass der Einfluss der Bremsen, wenn auch bei günstigen Gefällsverhältnissen in den angegebenen Coëfficienten enthalten, doch noch nicht genug bekannt ist, endlich bei dem weiteren Umstande, dass auch noch durch anderweitige, wenn auch weniger wichtige ungünstige Einflüsse, d. h. vernachlässigte Erhaltung oder durch ungünstige Witterungsverhältnisse herbeigeführten schlechten Zustand des Oberbaues die Zahl der aus der Bahn entfernten Schienen oft mehr oder weniger beeinflusst werden kann, so wird es sich nie empfehlen, die ganze Werthsdifferenz als Pönale festzusetzen. Es könnte dadurch dem Eisenwerke Unrecht geschehen.

Wenn aber auch nur ein Theil der wirklichen Werths-Differenz als Pönale festgesetzt wird, so wird dies für die liefernden Eisenwerke ein Sporn sein, nur eine gute Qualität von Schienen zu liefern.

Für die Bahnen selbst ist aber jedenfalls ein Mittel gegeben, sich vor grossen Nachtheilen bei Abschlüssen von Schienenlieferungen zu bewahren.

8. Schlussbemerkung.

Weit entfernt, glauben zu wollen, dass mit den hier mitgetheilten Erfahrungen der Gegenstand erschöpft sei, soll durch die vorstehenden Mittheilungen vielmehr nur die Aufmerksamkeit der Fachgenossen auf diesen, für die Oeconomie der Eisenbahnen hochwichtigen Gegenstand geleitet werden.

Es wird erst durch eine Reihe von sorgfältigen Beobachtungen auf Bahnen mit den verschiedensten Anlageverhältnissen und Radbelastungen möglich sein, successive der Wahrheit noch näher zu kommen. Es dürften ferner für die hier gar nicht erwähnten Einflüsse der Geschwindigkeit, die allerdings auf denselben Bahnen nicht zu sehr abweichen können, Rectifications-Coëfficienten gefunden werden, und endlich dürfte es doch möglich sein, für solche Bahnstrecken, wo die Bremsen häufig in Anwendung kommen, wenigstens mittlere Coëfficienten auch für diese Einflüsse zu ermitteln.

Die Unzulänglichkeit der jetzigen, allgemein bestehenden Lieferungsbedingnisse, sowie die Unrichtigkeit des Grundsatzes, die Qualität der Schienen nur nach der Benützungszeit beurtheilen zu wollen, dürfte aber widerspruchslos anerkannt werden müssen, nicht minder das Verwerfliche, bei den Schienen blos den offerirten Preis als entscheidend anzusehen.

Ueber eine auf das Princip der Massenbeschleunigung basirte Variante des Schrauben-Propellers.

Von

Theodor Kadařz,

k. k. Major im Bauverwaltungs-Officier-Corps.

(Mit Zeichnungen auf Blatt 8.)

1. Einleitung.

1. Die natürlichste Benützungsart einer bewegten Masse zur Kraft- oder Widerstandsäusserung besteht darin, dass man deren lebendige Kraft durch Verminderung oder gänzliche Aufhebung der Geschwindigkeit in der Kraftmaschine aufnimmt, oder dass man deren Geschwindigkeit steigert und so durch die Trägheit der Masse den verlangten Widerstand hervorruft.

Der letztere Fall kommt insbesondere bei Benützung der Schraubenkraft zum Forttreiben der Schiffe in Anwendung.

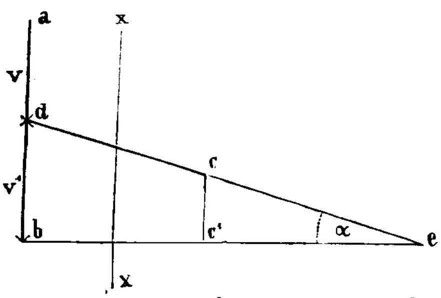
Je ruhiger und gleichmässiger nun der Uebergang aus einer Geschwindigkeit in die andere erfolgt, desto grösser entfällt der Nutzeffect jener Maschine, welche den Druck aufzunehmen oder den Widerstand hervorzurufen hat.

Eine rapide Umsetzung der Geschwindigkeit verursacht Stösse und hat einen geringen Nutzeffect zur Folge.

2. Jedes durch einen Schraubenpropeller vorwärts bewegte Schiff erlangt in unbewegtem Wasser und beim Beharrungszustand der Maschine eine gewisse Secundengeschwindigkeit v, mit welcher sonach auch die Wasserelemente bei der rotirenden Schraube anlangen.

Es wäre nun z. B. in Fig. 1 die entwickelte Leitlinie des Flügels einer einfach conoidischen Schraube, welcher die Umfangsgeschwindigkeit $b\,c = \omega$ zukömmt, und deren Steigwinkel $b\,e\,d = \alpha$ ist.

Fig. 1.



Ein in der Richtung $b\,d$, parallel zur Achse $x\,x$ der Schraube, mit der Geschwindigkeit v bei d eintreffendes Wasserelement muss während seines in der Richtung $x\,x$ fortgesetzten Durchganges unter der Leitlinie die Geschwindigkeit $d\,b = v' = \omega \tan \alpha$ besitzen; es muss diese Geschwindigkeit in dem Augenblicke annehmen, in welchem es an dem Puncte d ankommt. Dasselbe vollführt sich in jedem Cylinderschnitte des Flügels.

Wäre nun die Masse des Wassers, sobald sie sich unter dem Drucke der Schraube befindet, fest und unverrückbar, so hätte die Schraube nur die Reibung zu überwinden, um das Schiff mit der Geschwindigkeit v' vorwärts zu treiben.

Da könnten die Schraubenflügel auch keine andere als einfach conoidische Flächen besitzen, und die Schraube hätte keinen sogenannten Rückbleib oder Slip.

Bei der leichten Verschiebbarkeit der Wassertheilchen erlangt jedoch das Schiff, sobald es im ruhigen Wasser durch die Schraube allein vorwärts bewegt wird, nie die Geschwindigkeit v', sondern stets eine geringere v, und es erklärt sich nun sehr leicht, dass es Schrauben ohne, oder solche mit negativem Slip gar nicht geben könne.

In ruhigem Wasser treffen daher im Allgemeinen die Wasserelemente mit der Geschwindigkeit v an der Vorderkante der Schraubenflügel ein, und werden von diesen in die Geschwindigkeit v' umgesetzt.

Die mit der Constructionsart der einfachen Schraubenfläche zusammenhängende, augenblickliche Umsetzung der Wassergeschwindigkeit ist die Ursache der bei der einfach conoidischen Schraube wahrnehmbaren rüttelnden Bewegung des Schiffes und eines um so grösseren Arbeitsverlustes als $v' > v$ ist.

Haben sodann die Wassertheilchen unter dem Drucke der über sie hingleitenden Fläche die Achsengeschwindigkeit v' erlangt, denn offenbar ist die augenblickliche Geschwindigkeitsumsetzung unmöglich, so kann der Flügel keinen weiteren Druck auf das Wasser ausüben; jede Verlängerung der Fläche über die hiedurch bestimmte unbekannte Grenze bleibt für die Nutzarbeit wirkungslos.

Aus dem Vorstehenden ergeben sich folgende drei Schlüsse:

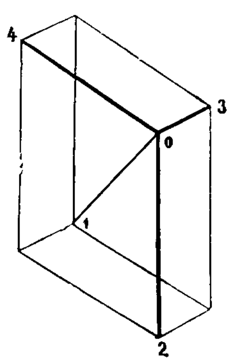
a) Die einfach conoidischen, oder nach der einfachen Schraubenlinie (als Leitlinie) construirten Schrauben-Propeller haben grosse Arbeitsverluste und erleiden an den Vorderkanten der Flügel Erschütterungen.

b) Dieselben tragen zur Nutzarbeit nur mit einem kleinen, der Vorderkante folgenden Theile eines jeden Flügels bei.

c) Der Slip hängt nicht, wie man noch vielfach anzunehmen scheint, von der Reibung, sondern von der Verschiebbarkeit der Wassertheilchen ab.

3. Bei Untersuchung der auf eine windschiefe Fläche einwirkenden Kräfte oder Widerstände geht man im Allgemeinen von der Normalkraft oder vom Normalwiderstande aus, d. h. man nimmt an, dass die Resultirende aller in einem Puncte einer solchen Fläche auftretenden Kräfte oder Widerstände sich in dem gedachten Puncte normal zur Fläche stelle.

Fig. 2.



Dies vorausgeschickt, sei durch Fig. 2 mit $\overline{0 \cdot 1}$ der Normalwiderstand ausgedrückt, welcher im Puncte o der treibenden Fläche eines Schrauben-Propellers, der Propeller-Fläche, wie wir sie (nach Professor Mos-hammer) hin fort nennen wollen, entsteht.

Wir zerlegen denselben in drei aufeinander senkrechte Componenten, und zwar:

$\overline{0 \cdot 2}$ parallel zur Propeller-Achse,
$\overline{0 \cdot 3}$ senkrecht zur Propeller-Achse,
$\overline{0 \cdot 4}$ in die senkrechte, auf die Ebene $\overline{3 \cdot 0 \cdot 2}$.

Die erste dieser Componenten bezeichnet den Achsenbetrieb, die zweite den normalen Achsendruck, die dritte den Rotations-Widerstand im Puncte o des Flügels.

Die senkrecht zur Achse gerichteten Drücke heben entweder einander gegenseitig auf, oder sie nehmen die Bruchfestigkeit der Welle in Anspruch.

Die Resultirende aus den Achsentrieb-Componenten gibt die Achsenkraft, und das Verhältniss zwischen dieser und dem Rotationswiderstande nimmt Einfluss auf die Configuration des Flügels.

Man kann sich nämlich ohne Schwierigkeit bei Propellern, deren Steigwinkel genügend klein sind, auf der Propellerfläche eine Reihe von Puncten denken, wo die Componenten der erwähnten beiden Widerstände, ohne Rücksicht auf deren absolute Grösse, einander gleich sind.

Werden diese Puncte durch eine Linie stetig verbunden gedacht, so findet man nach der Natur der hier in Betracht kommenden windschiefen Fläche auf einer Seite dieser Verbindungslinie, nämlich gegen den Umfang der Schraube zu, nur Puncte, wo die Componente der Achsenkraft grösser ist als jene des Rotations-Widerstandes, auf der anderen Seite, nämlich gegen die Achse zu, dagegen nur solche Puncte, in denen das Verhältniss umgekehrt ist, wo also auf dem ganzen Flächenstück der Rotations-Widerstand den Achsentrieb überwiegt.

Offenbar ist jedoch das Bestreben bei der Construction eines Schrauben-Propellers dahin gerichtet, das Verhältniss zwischen der Achsenkraft und dem Rotations-Widerstande möglichst gross zu erhalten.

Diese Absicht lässt sich erreichen:

I. Durch Annahme grosser Radien und grosser Rotationszahlen, weil dadurch die Steigwinkel klein werden und die Normalen sich der parallelen Lage zur Achse mehr nähern.

II. Durch eine solche Flügel-Configuration, welche den grösseren Theil der Propellerfläche näher gegen den Umfang bringt.

4. Bei den folgenden Untersuchungen wird der Schrauben-Propeller als einziger und beständiger Treibapparat des Schiffes im ruhenden (Todt-) Wasser angenommen und ein Zusammenwirken von Segel und Schraube, oder diejenige Form des Propellers, welche beim Segeln ohne Dampf den geringsten Widerstand bietet, nicht berücksichtigt.

2. Das Princip der Geschwindigkeits-Umsetzung mit gleichförmiger Beschleunigung.

1. Bei einem Schrauben-Propeller, welcher, ohne zu schlagen oder Erschütterungen des Schiffes hervorzurufen, arbeiten soll, muss das Wasser ohne plötzliche Aenderung seiner Geschwindigkeit unter die active Propellerfläche gelangen, dann aber durch den Druck der Flügel in jene Geschwindigkeit überführt werden, damit durch die Trägheit der Masse im Antrieb der zur Fortbewegung des Schiffes mit der verlangten Geschwindigkeit erforderliche Widerstand entstehe.

Es handelt sich sonach um die Beschleunigung der Geschwindigkeit einer, mit der ganzen Flügelfläche in Berührung befindlichen Wassermasse.

Die hiezu erforderliche Arbeit wird nur dann den besten Effect liefern, wenn die nothwendige Geschwindigkeitsumsetzung mit gleichförmiger Beschleunigung erfolgt.

Es sei nunmehr die Secundengeschwindigkeit, mit

welcher das Wasser bei der Schraube anlangt, wenn das Schiff mit jener v per Secunde vorrückt, gleich . . . c
der Halbmesser des Propellers . . . . r
die Rotationszahl desselben per Secunde . . . . . n
der Steigwinkel der Leitlinie, welche durch das tangentielle Eintreffen der Wasserelemente an derselben bedingt wird = ... α
so hat man für die Bestimmung dieses Winkels:

$$\operatorname{tang} \alpha = \frac{c}{2 \pi r n} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1).$$

Derselbe heisst Eintrittswinkel, zum Unterschiede von jenem Steigwinkel der Leitlinie am Ende des Flügels, welcher, da er die Geschwindigkeit des Wassers beim Verlassen der Schraube bedingt, Austrittswinkel genannt wird.

Nennt man denselben β, und die Austrittsgeschwindigkeit . . . . c_1,
so hat man nach dem früheren

$$\operatorname{tang} \beta = \frac{c_1}{2 \pi r n} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 2).$$

In den vorstehenden zwei Gleichungen liegt die Grundbedingung für die jetzt in Aufnahme kommenden Propeller mit (in der Leitlinie und den Cylinderschnitten) zunehmender Steigung.

Die Leitlinie für die Darstellung der windschiefen Fläche eines Propeller-Flügels ist der auf der Mantelfläche eines rechten Kreiscylinders vom Halbmesser r hergestellte Uebergang des Steigwinkels α in jenen β.

Es ist jedoch selbstverständlich, dass die Leitlinie dem, in diesem Uebergang beobachteten Gesetze folgend, sowohl über den Eintritts- wie über den Austrittspunct fortgeführt und ebenso wie die Propellerfläche bis in's Unendliche verlängert werden könne. Hier wird nur jener Theil derselben in Betrachtung gezogen, welcher für den vorliegenden Zweck nöthig ist.

Das entwickelte Curvenstück der Leitlinie zwischen den beiden Puncten, welche den Tangentenwinkeln α und β entsprechen, kann, sobald die Geschwindigkeitsumsetzung der in unmittelbarer Folge von der Leitlinie angetriebenen Wasser-Elemente mit gleichförmiger Beschleunigung erfolgen solle, offenbar nur ein Stück einer Parabel sein, so dass die zwischen diesen beiden Puncten liegenden Ordinaten dem Gesetze der gleichförmigen Beschleunigung von c bis c_1 entsprechen.

Dabei verhalten sich die in gleichen Zeiträumen zurückgelegten Wege wie die Quadrate der Geschwindigkeiten, und weil diese Wege mit den bezüglichen Ordinaten in Proportion stehen, so müssen, wenn man die den Puncten am Ein- und Austritt zugehörigen Ordinaten mit y_α und y_β bezeichnet, sich verhalten:

$$y_\alpha : y_\beta = c^2 : c_1{}^2 = \operatorname{tang} \alpha^2 : \operatorname{tang} \beta^2 \quad . \quad . \quad 3).$$

3. Gleichung der entwickelten Leitlinie.

Es sei nunmehr Fig. 3 ab der entsprechende Theil dieser Parabel so, dass der Tangentenwinkel in $a = \alpha$, in $b = \beta$ ist. $\overline{a.1}$ und $\overline{a.2}$ seien die Coordinaten x_α, y_α; $\overline{b.3}$, $\overline{b.4}$ jene x_β, y_β, weiters $\overline{a.5}$ und $\overline{b.6}$ die Tangenten an die Parabel; XOY bezeichne das Coordinaten-System, dessen Ursprung befinde sich in O; endlich sei bc derjenige Theil des entwickelten Kreisumfanges, welcher der Projection der Leitlinie ab auf eine zur Propeller-Achse senkrechte Ebene entspricht und heisse M; so findet man als Gleichung der, der entwickelten Leitlinie entsprechenden Parabel:

$$x^2 = \frac{2 M y}{\operatorname{tang} \beta - \operatorname{tang} \alpha}.$$

Drückt man zur Vereinfachung das Umsetzungsverhältniss: $\frac{\operatorname{tang} \beta}{\operatorname{tang} \alpha} = \frac{c_1}{c}$ durch k aus und setzt für $\operatorname{tang} \alpha$ seinen Werth aus (1), so wird:

$$x^2 = \frac{2 M y}{\operatorname{tang} \alpha (k-1)} = \frac{4 \pi r n M}{c (k-1)} y \quad . \quad . \quad . \quad 4).$$

Die Werthe der Coordinaten für die Puncte a und b sind:

$$x_\alpha = \frac{M}{k-1}; \quad y_\alpha = \frac{M \operatorname{tang} \alpha}{2(k-1)} = \frac{c M}{4 \pi r n (k-1)},$$

$$x_\beta = \frac{M k}{k-1}; \quad y_\beta = \frac{M k^2 \operatorname{tang} \alpha}{2(k-1)} = \frac{c M k^2}{4 \pi r n (k-1)},$$

so dass auch hieraus die in (3) zur Bedingung gemachte Proportion:

$$y_\alpha : y_\beta = 1 : k^2 = \operatorname{tang} \alpha^2 : \operatorname{tang} \beta^2$$

folgt.

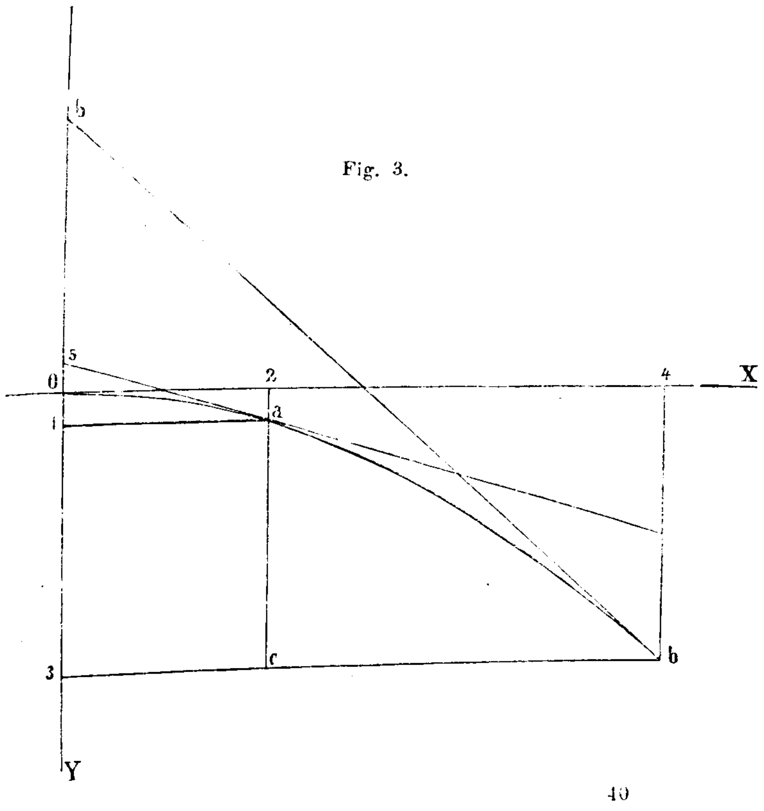
4. Aus der Differenz der beiden Ordinaten $y_\beta - y_\alpha$ erhält man die Länge des Propellers, nämlich:

$$l = \frac{M \operatorname{tang} \alpha (k+1)}{2} = \frac{c M (k+1)}{4 \pi r n} \quad . \quad . \quad . \quad 5).$$

4. Einfache Propeller-Fläche mit zunehmender Steigung.

1. Wenn man die so erhaltene Leitlinie auf die Mantelfläche eines rechten Kreiscylinders vom Halbmesser r aufwickelt, und sonach durch senkrechte Erzeugende zur Cylinderachse die conoidische Fläche darstellt, so erhält

Fig. 3.



man die Activfläche eines Propeller-Flügels mit zunehmender Steigung in ihrer einfachsten Form.

Alle Schnitte dieser Propeller-Fläche durch rechte Kreiscylinder, deren Achsen mit der Propeller-Achse zusammenfallen, geben entwickelt, wie man sich leicht überzeugt, Parabeln mit denselben Eigenschaften wie die Leitlinie.

Ist ρ der Halbmesser des Schnittcylinders, und bezeichnet man die Projection des Schnittes mit M_ρ, wo aus der Proportion $M_\rho : M = \rho : r$; $M_\rho = \frac{M\rho}{r}$, so hat man für die Gleichung des entwickelten Cylinderschnittes vom Halbmesser ρ

$$x^2 = \frac{4\pi\rho^2 n M}{c r (k-1)} \, y \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 6).$$

Das Wasser trifft an der ganzen aus a gezogenen Erzeugenden tangentiell zur Propeller-Fläche ein, und es wird seine Geschwindigkeit bis zu jener Erzeugenden, welche dem Puncte b (Fig. 3) entspricht, in der Achsenrichtung gleichförmig beschleunigt.

Sobald ein Wasser-Element an der Vorderkante eingetreten ist, beginnt der Druck der Fläche auf dasselbe, in demselben Augenblicke macht sich auch der durch den hydrodynamischen Gegendruck gebildete Widerstand geltend.

Befindet sich ein solches Wasser-Element in der Tiefe τ unter der Oberfläche, so wird dasselbe von dem entsprechenden Cylinderschnitt angegriffen, und vollführt nun in Folge der Eigenschaft der Verschiebbarkeit, welche die vollkommen flüssigen Körper auszeichnet, stetig die Beschleunigungsbewegung in der Achsenrichtung, wobei es jedoch unausgesetzt unter dem Drucke der darüber befindlichen Wassermenge bleibt.

Ein Abgleiten des Elements von der ihm so vorgeschriebenen Bahn ändert an der Widerstandswirkung nichts, weil augenblicklich ein unter denselben Druckverhältnissen befindliches Nebenelement an dessen Stelle tritt.

Man kann sonach sagen, dasselbe repräsentire ein Massenelement von der Grösse $\frac{\varphi\gamma\tau}{g}$, in welcher: φ die auf dem Flügel eingenommene unendlich kleine Fläche, γ die Dichtigkeit des Wassers, τ die Tiefe des angetriebenen Wasserelements unter der Oberfläche, g die Beschleunigung der Schwere ausdrücken.

Nun durchläuft aber, wie Fig. 4 zeigt, wenn wir unter xx die Wasseroberfläche verstehen, die Projection $a'b'$ eines Cylinderschnittes des Flügels $abcd$, den mit dem Radius dieses Cylinderschnittes beschriebenen Kreisumfang, trifft sonach nur auf solche Massen-Elemente, welche in gleichen Abständen vom Schrauben-Centrum liegen, so dass man statt der einzelnen Tiefen τ_1, τ_2, τ_3 etc. die Tiefe t des Schraubencentrums o ohne Beeinträchtigung der Gesammtwirkung substituiren könne.

2. Die Geschwindigkeitszunahme der Wassermasse erfolgt durch die Strecke l (Propeller-Länge); es ist daher die Beschleunigung für jeden Punct der Activfläche:

$$p = \frac{c_1^2 - c^2}{2l} = \frac{c^2(k^2-1)}{2l} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 7),$$

und ebenso, wie eine bewegte Masse durch eine constante Kraft zur gleichförmigen Beschleunigung angetrieben wird, muss auch umgekehrt der von einer mit gleichförmiger Beschleunigung angetriebenen Masse herrührende Widerstand constant sein.

Der mittlere Achsentrieb eines solchen Propellers ist sonach, bei der Zulässigkeit der Annahme der mittleren Tiefe t, in allen Puncten der Propeller-Fläche derselbe.

3. Achsenkraft eines solchen Propellers. Diese ist die Resultirende aller mit der Propeller-Achse parallelen und in ihrem mittleren Werthe gleich grossen Achsentrieb-Componenten:

$$\frac{c^2(k^2-1)}{2l} \cdot \frac{\varphi\gamma t}{g}.$$

Ihre Grösse kommt bei jedem Flügel in jener Ausdehnung zur Geltung, in welcher sich seine ganze Antriebsfläche auf einer zur Achse senkrechten Ebene orthogonal projicirt.

Es ist aber, wenn in Fig. 4 $ab = M$, $cd = M_1$, od als Halbmesser des Nabenkreises $= r_1$, gesetzt wird: $M_1 = \frac{Mr_1}{r}$, und das Areale f einer Flügel-Projection:

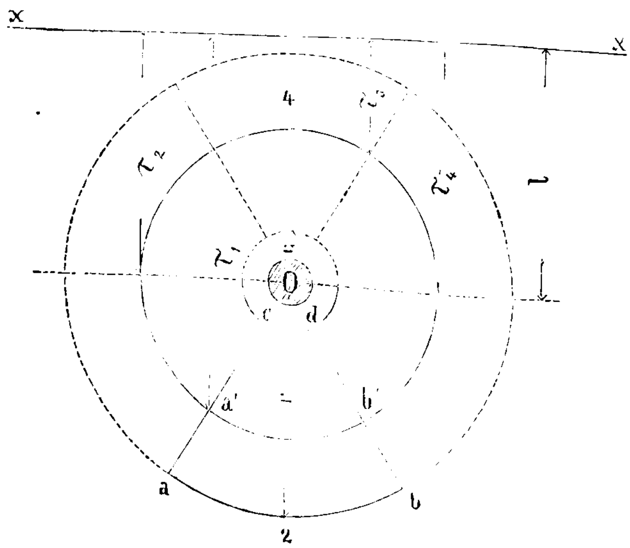
$$f = \frac{M}{2r}(r^2 - r_1^2),$$

und sonach die totale Achsenkraft bei der Flügelzahl $= m$:

$$P_t = \frac{c^2(k^2-1)}{2l} \frac{mf\gamma t}{g} = \frac{c^2(k^2-1)}{2l} \cdot \frac{m\gamma t}{g} \cdot \frac{M}{2r}(r^2 - r_1^2) \quad . \quad . \quad 8).$$

Bei dieser ist ein durch die Widerstände am Propeller entstehender Verlust nicht berücksichtigt, welcher zur Folge

Fig. 4.



hat, dass nur ein Theil des wirklich ausgeübten Druckes zur Fortbewegung des Schiffes disponibel bleibt. Bezeichnet man den totalen Druck mit P_t, den wirksamen Theil desselben mit ζ, so ist der nützliche Druck:

$$P = \zeta . P_t \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 9).$$

4. Rotations-Widerstand. Die Resultirende des in allen Puncten der Flügelfläche gleichen, mittleren, totalen Achsentriebes geht durch den Schwerpunct der Flügel-Projection, ihre Richtung ist parallel zur Achse.

Wenn wir uns sonach den Angriffspunct derselben in den Durchstoss ihrer Richtung mit der Propellerfläche verlegen, so sind wir im Stande, mittelst der Eingangs erwähnten Kräftezerlegung aus der bekannten Achsenkraft den Rotations-Widerstand des Propellers zu ermitteln.

Dieser ist, wenn man mit χ den Neigungswinkel derjenigen Tangentenebene bezeichnet, welche durch den Angriffspunct der Achsenkraft-Resultante an die Propellerfläche gelegt wird: $R_w = \frac{P}{\zeta_1}$ tang χ, oder da aus (6) tang $\chi = \frac{c(k+1)}{4\pi n \rho_s}$ hervorgeht, wenn man in dem Differential-Quotienten $\frac{dy}{dx} : \rho = \rho_s$ und $x = \frac{M\rho_s}{r(k-1)} + \frac{M\rho_s}{2r} = \frac{M\rho_s(k+1)}{2r(k-1)}$ setzt

$$R_w = \frac{Pc(k+1)}{4\pi n \rho_s \zeta_1} \quad \ldots\ldots \quad 10).$$

5. Leistung dieses Propellers. Bei jedem Schrauben-Propeller, daher auch bei dem vorliegenden, ist stets eine dreifache Leistung zu beachten, und zwar:

I. Jene Arbeit, welche vollführt wird, indem der Schrauben-Propeller unter dem auf der Projectionsfläche seiner Flügel stattfindenden nützlichen Drucke mit der Secunden-Geschwindigkeit v vorrückt (Nutzleistung).

II. Jene Arbeit, welche (zur Umsetzung der Wassergeschwindigkeit) in der Achsenrichtung des Propellers nöthig ist, um den oben erwähnten totalen Druck hervorzubringen (Achsentrieb-Leistung).

III. Diejenige Arbeit endlich, welche zur Ueberwindung des Rotations-Widerstandes dient (Rotations-Leistung).

Für die Nutzleistung hat man den einfachen Ausdruck:

$$L_1 = Pv \quad \ldots\ldots\ldots \quad 11).$$

Der Ausdruck für die Achsentrieb-Leistung wird dadurch hergestellt, dass man untersucht, welche Arbeit jeder Flügel zur Umsetzung der Wassergeschwindigkeit vollführen muss, um die Achsenkraft $\frac{P}{\zeta_1}$ hervorzurufen.

Nun setzt aber jeder Flügel auf seinem, sich in dem hohlen Kreiscylinder von der Grundfläche $\pi(r^2 - r_1^2)$ auf diese letztere projicirenden Wege die von ihm ergriffene Wassermasse aus der Geschwindigkeit c in jene c_1 so oftmal um, als er Rotationen in der Secunde macht. m Flügel vollführen diese Arbeit $m$mal, so dass man hat:

$$L_2 = \frac{c^2(k^2-1)}{2} \cdot \frac{mn\pi(r^2 - r_1^2)\gamma t}{g} = \frac{2n\pi r l}{M} \frac{P}{\zeta_1}.$$

Wenn man darin für l seinen Werth aus (5) setzt, so wird $L_2 = \frac{Pc(k+1)}{2\zeta_1} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 12).$

Bezeichnet R_ω den Rotations-Widerstand des Propellers, ρ_s den Radius des Flügelprojections-Schwerpunctes, nämlich dessen senkrechten Abstand von der Propeller-Achse, so hat man für die Leistung der Rotation:

$$L_3 = 2\pi n \rho_s \; n R_\omega,$$

oder mit Rücksicht auf (10):

$$L_3 = L_2 = \frac{Pc(k+1)}{2\zeta_1}.$$

6. Wirkungsgrad. Der Wirkungsgrad einer Maschine ist der Quotient aus der wirklichen in die Nutzarbeit.

Im vorliegenden Falle ist der Wirkungsgrad η aus 11 und 12

$$\eta = \frac{2\zeta_1 v}{c(k+1)} \quad \ldots\ldots \quad 13).$$

Wenn der Wirkungsgrad eines Schrauben-Propellers zu dem Zweck ermittelt werden sollte, um diesen in Bezug auf seine Constructionsart, also ohne Rücksicht auf die Nutzarbeit mit einem anderen Schrauben-Propeller zu vergleichen, dann bedient man sich dazu am zweckmässigsten des Verhältnisses, welches die sogenannten innern Arbeiten enthält, nämlich:

$$\eta_{III} = \frac{\text{Achsentriebarbeit}}{\text{Rotationsarbeit}}.$$

Beim einfachen Schrauben-Propeller mit zunehmender Steigung ist der Wirkungsgrad für innere Arbeit:

$$\eta_{III} = 1 \quad \ldots\ldots \quad 14).$$

5. Propellerfläche für die Erhöhung des Wirkungsgrades, insbesondere mit Bezug auf die innere Arbeit.

1. Die in der Einleitung (3) angedeutete Configuration der Propeller-Flügel zur Verminderung des Rotations-Widerstandes lässt sich ohne Schwierigkeit dadurch erreichen; dass man als Erzeugende Parabeln annimmt, welche die Leitlinie schneiden und deren Achsen mit der Schraubenachse zusammenfallen, deren Parameter jedoch im umgekehrten Verhältniss zur Zunahme der Wassergeschwindigkeit stehen.

2. Gleichung für die erzeugenden Parabeln. Es bezeichnen φ irgend einen Tangentenwinkel der Leitlinie, deren Gleichung (4)

$$x^2 = \frac{4\pi r n M}{c(k-1)} y \text{ ist.}$$

Hieraus ergibt sich der Ausdruck für die trigonometrische Tangente des Winkels φ:

$$\text{tang } \varphi = \left(\frac{dy}{dx}\right) = \frac{c(k-1)}{2\pi r n M} x_\varphi.$$

Die Geschwindigkeit c_φ im Puncte der Leitlinie, dessen Coordinaten x_φ, y_φ sind, lässt sich nach Gleichung (1) bestimmen; es ist nämlich:

$$c_\varphi = \frac{c(k-1)}{M} x_\varphi.$$

Es sei nun ebenso ψ irgend ein anderer Tangentenwinkel der Leitlinie, nur mit der Voraussetzung, dass $\varphi > \psi$ ist. Die Geschwindigkeit im Puncte x_ψ y_ψ ist daher:

$$c_\psi = \frac{c(k-1)}{M} x_\psi.$$

Die Differenz der Geschwindigkeit in diesen zwei Puncten findet man:

$$c_\varphi - c_\psi = \frac{c(k-1)}{M} \cdot (x_\varphi - x_\psi).$$

Wir nehmen nun im Puncte x_ψ, y_ψ die auf die Achse Senkrechte als Erzeugende an und behalten diesen Punct unveränderlich bei.

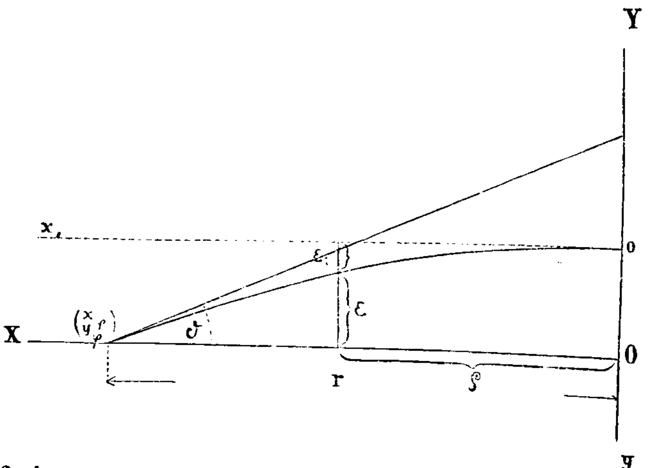
Die zu dem in der Leitlinie fortgleitenden Puncte x_φ, y_φ gehörige Erzeugende, sei dagegen eine gemeine Parabel, deren Achse in der Propeller-Achse liegt, und deren Krümmung so beschaffen ist, dass die an ihrem in der Leitlinie (im Puncte $x_\varphi\, y_\varphi$) liegenden Fusspuncte an dieselbe gelegte Tangente mit dem zu diesem Puncte gehörigen Propeller-Halbmesser r (Senkrechte auf die Achse) denselben Winkel einschliesst, welcher der Tangente an die Leitlinie in jenem Puncte entspricht, in welchem die Geschwindigkeit $c_\varphi - c_\psi$ ist.

Es ist aber für diesen Punct nach Gleichung (1):

$$\text{tang}\, d = \frac{c_\varphi - c_\psi}{2\pi r n} = \frac{c(k-1)}{2\pi r n M}\,(x_\varphi - x_\psi).$$

Bezeichnet man sonach die allgemeinen Coordinaten der Erzeugungsparabeln, und zwar im Sinne der Propeller-Halbmesser mit ρ, die im Sinne der Propeller-Achse mit ε,

Fig. 5.



so findet man als Gleichung dieser Parabeln (da im gegebenen Falle der Parameter $= \frac{r}{\text{tang}\, d}$), und mit Bezug auf das Coordinaten-System xoy in Fig. 5:

$$\rho^2 = \frac{2r}{\text{tang}\, d}\,\varepsilon_1,$$

und wenn man darin statt tang d den obigen Werth substituirt und die Gleichung mit Bezug auf das Coordinaten-System XOY, dessen X-Achse in die von dem Puncte $x_\varphi\, y_\varphi$ (der Leitlinie) zur Propeller-Achse geführte Senkrechte fällt, transformirt, sonach statt ε_1 den Werth ε der Abscisse einführt, so findet man für die so dargestellte Erzeugende der Propellerfläche:

$$\varepsilon = \frac{r^2 - \rho^2}{4r^2} \cdot \frac{c(k-1)}{\pi n M}(x_\varphi - x_\psi) \quad . \quad . \quad 15).$$

Setzt man hierin $\rho = o$ und $x_\varphi = x_\beta = \frac{Mk}{k-1}$, so erhält man die Scheitelhöhe oO der Erzeugenden, welche dem Austrittspuncte b, Fig. 3, entspricht, nämlich:

$$\varepsilon_{\beta o} = \frac{c}{4\pi n}\left(k - \frac{(k-1)}{M}\, x_\psi\right) \quad . \quad . \quad . \quad 16).$$

Die Bestimmung der Grösse x_ψ ist erst in der Folge möglich, daher wir dieselbe vorläufig als bekannt voraussetzen wollen.

3. Gleichung der entwickelten Cylinderschnitte. Bei Aufstellung der Gleichung für die entwickelten Cylinderschnitte einer nach dieser Constructionsart entstehenden Propeller-Fläche ist darauf Rücksicht zu nehmen, dass alle Puncte dieser Schnitte um die Grösse ε über oder (wenn ε negativ ist) unter denjenigen in der Achsenrichtung liegen, deren Ordinaten sich aus Gleichung (4) bei Anwendung derselben für verschiedene Halbmesser ergeben.

Setzen wir sonach in dieser Gleichung statt r den veränderlichen Radius ρ, und statt M (aus der Proportion $M : r = M_1 : \rho$) $M_1 = \frac{M\rho}{r}$, so erhalten wir die Elementar-Gleichung (6) für den dem Halbmesser ρ entsprechenden Cylinderschnitt bei geraden auf die Achse senkrechten Erzeugenden, nämlich:

$$y = \frac{c\, r\, (k-1)}{4\pi n \rho^2 M}\, x^2 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 17)$$

Da jedoch die Puncte des Cylinderschnittes vom Halbmesser ρ mit der neuen Propellerfläche um ε aus Gleichung (15) näher gegen die ursprüngliche x-Achse (Fig. 3) liegen, so haben wir in der vorstehenden Gleichung, wenn wir die Coordinaten des gesuchten Schnittes mit ξ und v bezeichnen, und noch beachten, dass, weil die Abscissen im geraden Verhältnisse zu den Radien bleiben $(x : \xi = r : \rho)$, wo x und r für die Leitlinie gelten, zu setzen: statt x ξ, statt y, $v + \varepsilon$, und statt χ_φ, $\frac{\xi r}{\rho}$, so dass wir nunmehr erhalten:

$$v = \frac{c\,(k-1)}{4\pi n M}\left(\frac{r}{\rho^2}\,\xi^2 - \frac{r^2 - \rho^2}{r\rho}\,\xi + \frac{r^2 - \rho^2}{r^2}\cdot \chi_\psi\right) \quad . \quad . \quad 18)$$

als Gleichung der entwickelten Schnittcurve des Cylindermantels vom Halbmesser ρ_1 mit der durch Parabeln als Erzeugenden gebildeten Fläche, bezogen auf das ursprüngliche Coordinaten-System der Leitlinie, oder was gleichbedeutend ist, des entwickelten Cylinderschnittes von demselben Halbmesser ρ_1 mit der durch senkrechte Erzeugende gebildeten einfachen Propellerfläche.

Aus der Gleichung (18) lassen sich die Eigenschaften dieser Schnittcurve nicht sogleich erkennen, es ist daher nöthig, dieselbe hierauf bezüglich zu untersuchen.

Zuerst ob dieselbe einen Wendepunct (Scheitel) habe, welches seine Coordinaten sind, dann wenn ein solcher vorhanden, welche weitere Eigenschaften zu Tage traten, wenn man den Ursprung des Coordinaten-Systems in diesen Scheitel verlegt.

Hat die Curve einen Scheitel, so muss dessen Ordinate v ein Minimum sein. $x\psi$ als constant angesehen, erhalten wir:

$$\frac{dv}{d\xi} = \frac{c\,(k-1)}{4\pi n M}\left(\frac{2r\xi}{\rho^2} - \frac{r^2 - \rho^2}{r\rho}\right);$$

$$\frac{d^2v}{d\xi^2} = \frac{c\, r\,(k-1)}{2\pi n \rho^2 M};$$

diesemnach ist v für den Werth $\xi = \frac{(r^2 - \rho^2)}{r} \cdot \frac{\rho}{2}$ ein Minimum.

Wird dieser Werth in Gleichung (18) statt ξ substituirt, sodann statt v y_e, und statt ξ x_e gesetzt, indem, wie wir später sehen werden, y_e und x_e die Coordinaten für die Eintritts-Contour bezeichnen, so findet man als Coordinaten des Curvenscheitels:

$$y_e = \frac{r^2 - \rho^2}{r^2} \cdot \frac{\rho\,(k-1)}{4\pi n M}\left(x_\psi - \frac{r^2-\rho^2}{4r}\right) \quad . \quad . \quad 19),$$

$$x_e = \frac{r^2 - \rho^2}{r^2} \cdot \frac{\rho}{2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 20).$$

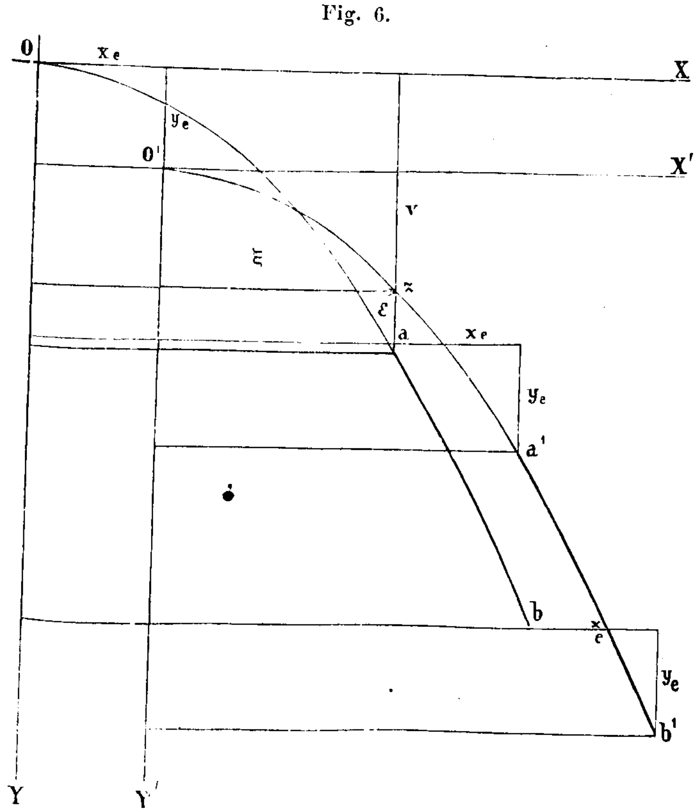
Transformirt man jetzt durch parallele Verschiebung der Coordinaten-Achsen in den Punct x_e y_e, die Gleichung (18), indem man statt ξ $x_e + x$, und statt v $y_e + y$ setzt, so findet man für den bezüglichen Cylinderschnitt die Gleichung:

$$y = \frac{c\,r\,(k-1)}{4\pi n \rho^2 M}\, x^2,$$

d. h. es sind die durch Einführung der parabolischen Erzeugenden entstehenden Cylinderschnitte, wenn man sie entwickelt, ganz dieselben Parabeln, welche bei geraden, auf die Propeller-Achse senkrechten Erzeugenden entstehen würden, da die eben gefundene Gleichung mit jener (17) identisch ist; nur erscheinen dieselben mit Bezug auf das in Fig. 3 angenommene Coordinaten-System um die Coordinaten x_e und y_e rechtwinklig verschoben.

Wenn sonach Fig. 6 $a\,b$ jenen Parabeltheil eines entwickelten Cylinderschnittes vom Halbmesser ρ darstellt, welcher einer durch senkrechte Erzeugende zur Achse gebildete einfache P-Fläche entsprechen würde, so erhält man den Cylinderschnitt $a'b'$ mit der neuen, durch parabolische

Fig. 6.



Erzeugende entstandenen Propeller-Fläche, indem man die ganze Figur so verschiebt, dass die Coordinaten-Achsen $X\,O\,Y$ nach $X'\,O'\,Y'$, wo x_e und y_e die Coordinaten des neuen Ursprunges sind, zu liegen kommen.

In Fig. 6 sind auch für einen Punct z der Schnittlinie $a'b'$ die Coordinaten ξ und v, dann die Grösse ε ersichtlich gemacht.

Wenn man in den einzelnen Cylinderschnitten die Puncte a als Eintrittspuncte beibehält, so bleibt die Krümmung dieser Schnitte innerhalb der P-Fläche genau dieselbe wie bei der vorbeschriebenen einfachen Propeller-Fläche mit zunehmender Steigung, und es entspricht offenbar derselben Krümmung auch dieselbe Wirkung bezüglich der Beschleunigung der Wassergeschwindigkeit.

4. Verkürzung des Flügels in der Propeller-Achse. Es kann nunmehr zur Bestimmung des Werthes x_ψ geschritten werden.

In Gleichung (16) bezeichnet ε_{β_0} jene Verkürzung des Flügels in der P-Achse, welche durch die Scheitelhöhe der parabolischen Austrittserzeugenden entsteht.

Um die entgegengesetzte Verkürzung des Flügels in der P-Achse, nämlich jene auf der Eintrittsseite zu finden, setze man in Gleichung (19) $\rho = o$.

Man findet:

$$y_{e\,0} = \frac{c\,(k-1)}{4\pi n M}\left(x_\psi - \frac{r}{4}\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 21).$$

die gesuchte Verkürzung.

Die beiden Gleichungen (16) und (21) dienen nunmehr zur Bestimmung des Werthes x_ψ. Denn, wenn die beiderseitigen Verkürzungen, wie dies wegen der richtigen Lage des Nabenansatzes wohl sein muss, einander gleich gesetzt werden, so erhält man:

$$x_\psi = \frac{k\,M}{2\,(k-1)} + \frac{r}{8} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 22).$$

und als Verkürzung sowohl in der vordern als rückwärtigen Contour:

$$\varepsilon_{\beta_0} = y_{e\,0} = \frac{c\,(k-1)}{4\pi n M}\left(\frac{k\,M}{2\,(k-1)} - \frac{r}{8}\right) \quad . \quad . \quad 23).$$

5. Begrenzung eines Flügels. Die äussere (Umfangs-) Begrenzung eines Flügels wird durch die Leitlinie, und zwar durch das Stück $a\,b$, Fig. 3, gebildet.

Die vordere oder Eintritts-Contour ist durch die Gleichungen (19) und (20) bestimmt, welche die Versetzungs-Coordinaten der Eintrittspuncte bei den Cylinderschnitten enthalten.

Wenn man in Gleichung (19) für x_ψ seinen Werth aus (22) setzt, so erhält man:

$$y_e = \frac{r^2-\rho^2}{r^2} \cdot \frac{c\,(k-1)}{4\pi n M}\left(\frac{k\,M}{2\,(k-1)} + \frac{r}{8} - \frac{r^2-\rho^2}{4r}\right) . \; . \; 24),$$

$$x_e = \frac{r^2-\rho^2}{r^2} \cdot \frac{\rho}{2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 25).$$

als diejenigen Grössen, um welche die Cylinderschnitte der durch senkrechte Erzeugende zur Achse entstandenen einfachen Propeller-Fläche in dem angezeigten Sinne versetzt werden müssen, um die neue P-Fläche zu erhalten, wie dies in Fig. 6 ersichtlich gemacht ist.

Beim Auftragen in der Achsen-Projection der P-Fläche (Grundriss) hat man zu beachten, dass die Abscissen x_e Bögen vom Radius ρ sind.

Die so entstehende Eintrittsbegrenzung hat den wesentlichen Vortheil gegen die radiale Begrenzung, dass nebst der Begünstigung des tangentiellen Einlaufens der vorderen Flügelkante zur respectiven Bewegung des Wassers und der Verkürzung des Flügels an der Nabe, auch noch die Passirung dieser Kante hinter dem Achtersteven des Schiffes, ohne Erschütterungen zu verursachen, begünstigt wird.

Bei der rückwärtigen oder Austrittsbegrenzung wurde, um einen noch grösseren Theil der Flügelfläche gegen den Umfang zu verlegen, eine Verlängerung der Flügelfläche über die Erzeugende des Punctes b, Fig. 3, bewirkt.

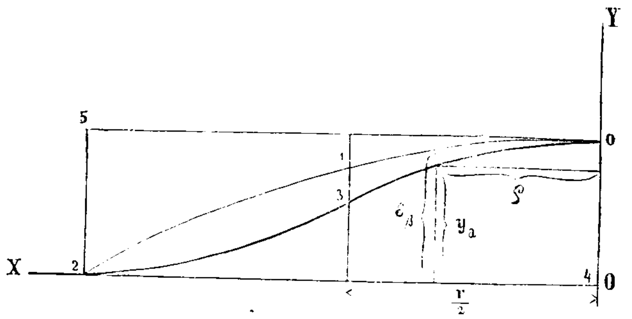
Setzt man in Gleichung (15) statt x_ψ seinen Werth aus Gleichung (22), und statt x_ψ, $x_\beta = \frac{Mk}{k-1}$, so erhält man als Gleichung der Erzeugenden für den Austrittspunct der Leitlinie:

$$\varepsilon_\beta = \frac{r^2-\rho^2}{r^2}\cdot\frac{c\,(k-1)}{4\pi n M}\left(\frac{kM}{2\,(k-1)}-\frac{r}{8}\right) \quad . \; . \; 26).$$

In Fig. 7 stellt 0·1·2 diese Erzeugende dar.

Beschreibt man nun in dem Rechtecke 0·4·2·5, wo 0·4 die Propeller-Achse bezeichnet, zwei gleiche entgegengesetzte, sich in 3 berührende Parabeln, deren Scheitel in o und 2

Fig. 7.



liegen, so erhält man die Krumme 0·3·2.

2·4 ist $= r$, 0·4 hat den Werth ε_β Gleichung (23) so, dass bezüglich auf das Coordinaten-System YOX, wenn die allgemeinen Coordinaten mit ρ und y_a (Austritts-Ordinate) bezeichnet werden:

$$y_a = \frac{c\,(k-1)}{4\pi n M}\left(\frac{kM}{2\,(k-1)}-\frac{r}{8}\right)\frac{(r-\rho)^2}{\rho^2+(r-\rho)^2} \quad . \; . \; 27)$$

die Gleichung dieser Curve darstellt.

Verlängert man nun die Flügelfläche über die Austrittserzeugende 0·1·2 so weit, bis deren Begrenzungspuncte von der durch 2, d. h. durch den Punct b, Fig. 3, senkrecht zur Schraubenachse gelegten Ebene um die Ordinate y_a abstehen, so gibt die Verbindungslinie der so erhaltenen Begrenzungspuncte, die Austritts-Contour.

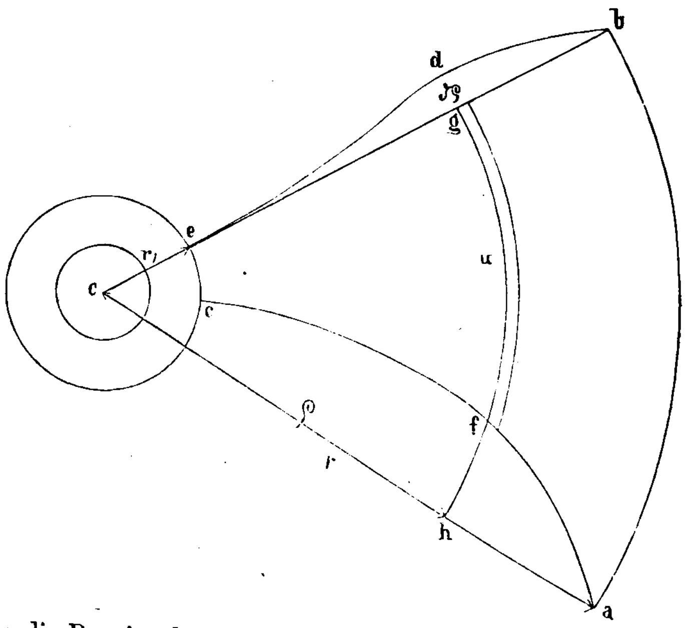
Die Herleitung der Raumgleichungen für diese Contourlinie, welche auf weitläufige, für die Praxis nicht unbedingt nöthige Ausdrücke führt, wird hier übergangen, weil für die spätere Berechnung der Achsenleistung eines solchen Propellers die Gleichung (27) vollständig entspricht.

6. Projectionsfläche eines Flügels. Um sich bei Ermittlung der nöthigen Grösse der Flügel auf eine bestimmte Fläche stützen zu können, indem der für die Fortbewegung des Schiffes erforderliche Achsentrieb von der Projectionsfläche sämmtlicher Flügel aufgenommen werden muss, ist es nöthig, diese Fläche für einen Flügel nahe genug zu bestimmen.

In Fig. 8 ist durch a, b, d, e, c eine solche Projectionsfläche dargestellt.

Die scharfe theoretische Ermittlung des Flächeninhaltes a, b, d, e, c ist mit Schwierigkeiten verbunden,

Fig. 8.



für die Praxis übrigens nicht so unbedingt nöthig, als dass man sich nicht mit einem Näherungswerthe begnügen könnte. Die Projectionsfläche des Flügeltheiles $abec$, Fig. 8, welcher durch den Achsenschnitt eb begrenzt wird, ist, wenn man mit ρ der Halbmesser eines Cylinderschnittes, dessen Projection $fg = \mu$, und mit $d\rho$ die Breite eines an μ anschliessenden schmalen Streifens bezeichnet:

$$f_1 = \int_{r_1}^{r} \mu\, d\rho.$$

Es ist aber $\mu = hg - hf = M_1 - x_e$, daher

$$f_1 = \int_{r_1}^{r}\left(\frac{M\rho}{r} - \frac{r^2-\rho^2}{r^2}\,\frac{\rho}{2}\right) d\rho,$$

oder entwickelt:

$$f_1 = \frac{M}{2r}\,(r^2 - r_1^2) - \frac{1}{8r^2}\,(r^2 - r_1^2)^2.$$

Ist nun ω ein Rectifications-Coëfficient für die Projectionsfläche eines ganzen Flügels, welcher durch genäherte Berechnung ermittelt, für die erste Rechnung ohne allzugrossen Fehler mit 1·0537 angenommen werden kann, so hat man für die gesuchte Projectionsfläche a, b, d, e, c

$$f = \omega f_1 = \frac{\omega\,(r^2 - r_1^2)}{2r}\left(M - {}^1/_2\cdot\frac{r^2-r_1^2}{2r}\right) \quad . \; . \; 28).$$

7. Bestimmung der Grösse M. Bezeichnet man mit m die Flügelzahl, und ist z derjenige Theil des Schraubenkreisringes, welcher von der Projection der sämmtlichen Flügel eingenommen werden solle, dann hat man:

$$f = \frac{z\pi(r^2 - r_1^2)}{m} = \omega \cdot \frac{(r^2 - r_1^2)}{2r}\left(M - \tfrac{1}{2}\frac{r^2 - r_1^2}{2r}\right),$$

und daraus, wenn man sogleich das Verhältniss $\frac{r_1}{r} = s$ setzt:

$$M = r\left(\frac{2z\pi}{\omega m} + \frac{1 - s^2}{4}\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 29).$$

8. Grenzwerthe für z. Diese Grösse darf in keinem Falle einen eng begrenzten numerischen Werth überschreiten, theils um die Flügel eines Propellers in einem entsprechenden Abstande von einander zu halten und dadurch zu hindern, dass dieselben in dem bereits von ihren Vorgängern angetriebenen Wasser arbeiten, theils um ein bestimmtes Merkmal zu haben, wie viele Flügel ein Propeller bei gegebenem Durchmesser erhalten müsse, um die nöthige Achsenkraft entwickeln zu können.

Bei präciser Annahme dieser Werthe von z wäre man hinsichtlich der Modellirung solcher Propeller zu sehr beengt, indem man zur Erleichterung in dieser Hinsicht stets darauf Rücksicht nehmen muss, dass die Abstände der Modellirschnitte (wie wir dieselben weiter unten kennen lernen werden) leicht messbare Theile der gegebenen Einheit werden.

Für die Praxis geeignete Grenzwerthe von z dürften sonach ungefähr folgende sein:

beim	2.	Flügel	von	0·24	bis	0·35
„	3.	„	„	0·32	„	0·39
„	4.	„	„	0·38	„	0·42
„	5.	„	„	0·42	„	0·44
„	6.	„	„	0·44	„	0·45

Bei den sich ergebenden Verhältnissen des Hauptspants eines Schiffes zu dem Projectionskreis des Propellers, werden Seeschrauben nie mehr als 4, Flussschrauben höchstens bis 6 Flügel erfordern.

9. Die Ermittlungen für die Erzeugenden (Achsenschnitte) sowohl, als wie für die Cylinderschnitte haben uns erkennen lassen, dass die auf solche Art entstandene Propellerfläche eines Flügels blos am Umfang, d. h. an der Leitlinie die Länge l und die Umsetzungsgrösse k besitze, dagegen für alle Cylinderschnitte diese beiden Grössen in dem Maasse abnehmen, als die Halbmesser ρ kleiner werden.

Wir wollen dieselben allgemein beziehungsweise λ und $\varkappa$ nennen, und bemerken, dass wegen der gleichen Krümmung vom Eintrittspuncte an mit jener bei senkrechten Erzeugenden, in jedem Cylinderschnitte der Länge l (vom Eintrittspuncte gerechnet) immer wieder die Grösse k für das Mass der Beschleunigung μ entspricht.

Es ist sonach für jeden Punct der Propellerfläche:

$$p = \frac{c^2(k^2 - 1)}{2l} = \frac{c^2(\varkappa^2 - 1)}{2\lambda},$$

woraus sich der wichtige Schluss

$$\frac{k^2 - 1}{l} = \frac{\varkappa^2 - 1}{\lambda} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 30),$$

und damit sogleich ergibt, dass auch hier, bei der Voraussetzung der gleichen mittleren Tiefen, der Achsentrieb in allen Puncten der Propellerfläche gleich ist und wir uns dessen Resultirende parallel zur Achse und durch den Schwerpunct der Flügel-Projection gehend denken, so wie über deren Intensität Aufschluss erhalten können.

10. Ausdruck für die Achsenkraft. Dieser Ausdruck ist analog dem in Gleichung (8)

$$P_t = \frac{c^2(k^2 - 1)}{2l} \cdot \frac{\gamma t}{g} \cdot z\pi(r^2 - r_1^2) \quad . \quad . \quad . \quad 31).$$

Bei dem bedeutenden Drucke, welchen die Propellerflügel auf das Wasser ausüben, wobei sich die Reibung geltend macht, dann bei dem Umstande, dass die Flügel das Wasser durchschneiden müssen, wodurch nicht allein ein directer Widerstand, sondern auch noch eine von der Rauhheit der Flächen abhängige Adhäsion besteht, geht ein entsprechender Theil der vorstehend ausgedrückten reinen Achsenkraft für den Vorwärtstrieb verloren.

Es sind bis nun noch keine genügenden Angaben über die Grösse dieses Kraftverlustes vorhanden, obzwar Morin als Reibungs-Coëfficienten:

für Gusseisen und Wasser . . . . 0·18
für Bronce und Wasser . . . . 0·15
angibt.

Diese auf den ersten Blick zu gross scheinenden Coëfficienten können jedoch, so lange nichts Näheres bekannt ist, zur Annahme der Verlust-Coëfficienten verwendet werden.

Man nimmt sonach (für die Praxis genügend sicher) an, dass von der ganzen durch einen Schrauben-Propeller ausgeübten Achsenkraft: bei Gusseisen-Propellern nur 82 Procent, bei Bronce-Propellern dagegen 85 Procent als nützlicher Druck sich äussern, wohingegen bei den ersten 18 Procent, bei den letzteren 15 Procent von der Reibung und den sonstigen Hindernissen absorbirt werden.

Bezeichnet man sonach mit ζ_1 (0·82 oder 0·85) allgemein den Verlust-Coëfficienten, so erhalten wir die verfügbare oder nützliche Achsenkraft:

$$P = \frac{c^2(k^2 - 1)}{2gl} \cdot \gamma t z \pi r^2 (1 - s^2) \zeta_1 \quad . \quad . \quad . \quad 32).$$

11. Rotations-Widerstand. Bei der eigenthümlichen Form, welche die Projection eines Flügels (auf der zur Achse senkrechten Ebene) besitzt, ist es am zweckmässigsten, sich zur Ermittlung des Rotations-Widerstandes, des graphischen Verfahrens zu bedienen. — Man ermittelt den Schwerpunct ohne Schwierigkeit mit Hilfe der Graphostatik, legt sodann durch denselben sowohl einen Achsen-, wie einen Cylinderschnitt, führt an diese im Durchschnittspuncte die Tangenten, durch welche die Tangentenebene, und somit die Normale zur Propellerfläche im Angriffspunct der Resultirenden der Achsenkraft bestimmt ist.

Wenn man jetzt durch diesen Angriffspunct die Richtungen der drei im Eingange erwähnten Componenten, des Achsentriebs, des Normal-Achsendruckes und des Rotationswiderstandes führt und, indem man auf die Richtung des Achsentriebes die Grösse $= 1$ aufträgt, sodann die Zerlegung vornimmt, so findet man das Verhältniss des Rotations-Widerstandes zur Achsenkraft.

Ist nun dieses Verhältniss σ, so hat man für den Rotations-Widerstand des Propellers:

$$R_w = \sigma P \quad \ldots \ldots \quad 33).$$

Wir kommen am Schlusse bei Durchführung eines Beispieles nochmals auf diesen Gegenstand zurück.

12. Leistung dieses Propellers. Wir unterscheiden hier, ebenso wie beim einfachen Propeller, mit zunehmender Steigung eine dreifache Leistung:

I. Die Nutzleistung:

$$L_I = P v \quad \ldots \ldots \quad 34),$$

für welche der Propeller mit der durch seine Flügel producirten nützlichen Achsenkraft den Weg v in der Secunde zurücklegt.

II. Die wirkliche oder Achsenleistung, welche dadurch entsteht, dass jeder Flügel die ganze von ihm ergriffene Wassermasse in dem Verhältnisse aus der Geschwindigkeit c in jene $\varkappa c$ umsetzt, als es die Grösse $\varkappa$ seiner Cylinderschnitte verlangt.

Hiernach ist die Leistung eines unendlich schmalen Flügelstreifens, welcher gegen die Achse zu durch den Cylinderschnitt vom Halbmesser ρ begrenzt wird, dem sonach die Breite $d\rho$ zukommt, wenn $\varkappa$ die Umsetzungszahl für diesen Halbmesser bezeichnet:

$$\frac{c^2(\varkappa^2-1)}{2g} \cdot \gamma t . 2\pi n \rho d\rho.$$

Dies wiederholt sich bei m Flügeln $m$mal, so dass man für diese Leistung des Propellers erhält:

$$L_{II} = \frac{c^2 m \gamma t \pi n}{g} \int_{r_1}^{r} (\varkappa^2-1)\rho d\rho.$$

Es ist jedoch aus Gleichung (30):

$$\varkappa^2 - 1 = \frac{(k^2-1)}{l}\lambda, \text{ sonach}$$

$$L_{II} = \frac{c^2(k^2-1)}{g l} m\gamma t \pi n \int_{r_1}^{r} \lambda \rho d\rho.$$

Um die Grösse λ zu finden, hat man nur zu berücksichtigen, dass sich der Flügel gegen die Schraubenachse zu, von der Grösse l um die beiden Stücke y_e (24) und y_a (27) verkürzt.

Diesem nach ist $\lambda = l - (y_e + y_a)$, oder:

$$\lambda = l - \frac{c(k-1)}{4\pi n M}\left\{\left(\frac{kM}{2(k-1)}+\frac{r}{8}\right)\frac{r^2-\rho^2}{r^2} - \frac{(r^2-\rho^2)^2}{4r^3} + \right.$$
$$\left. + \left(\frac{kM}{2(k-1)} - \frac{r}{8}\right)\frac{(r-\rho)^2}{\rho^2+(r-\rho)^2}\right\}.$$

Wird nun dieser Ausdruck anstatt λ unter das Integralzeichen gesetzt und die partielle Integration zwischen den Grenzen r_1 und r vollzogen, so findet man als Ausdruck für die wirkliche Leistung:

$$L_{II} = \frac{c^2(k^2-1)}{g} m\gamma t\pi n\left\{\frac{r^2-r_1^2}{2} - \frac{c(k-1)}{4\pi n M l}\left[\left(\frac{kM}{2(k-1)} + \right.\right.\right.$$
$$\left. + \frac{r}{8}\right)\left(\frac{r^2-r_1^2}{2r}\right)^2 - \frac{1}{3}\left(\frac{r^2-r_1^2}{2r}\right)^3 + \left(\frac{kM}{2(k-1)} - \frac{r}{8}\right)\left(\frac{\pi r}{8} - \right.$$
$$- \left(\frac{r-r_1}{2}\right)^2 - \frac{r^2}{8}\,\text{lognat}\,\frac{r^2}{r_1^2+(r-r_1)^2} -$$
$$\left.\left.\left. - \frac{r}{2}\,\text{arc tang}\,\frac{2r_1-r}{r}\right)\right]\right\} \quad \ldots \ldots \quad 35).$$

Das erste Product des zweiten Theiles dieser Gleichung stimmt mit der ersten Gleichung bei (12) vollkommen überein.

III. Die Rotations-Leistung erhält man, wenn r_s den Schwerpuncts-Radius bezeichnet, aus dem Rotations-Widerstande, indem der Propeller mit diesem den Weg $2\pi r_s n$ in der Secunde durchlaufen muss.

Wir haben demnach mit Rücksicht auf (33)

$$L_{III} = 2\pi r_s n \sigma P \quad \ldots \ldots \quad 36).$$

13. Wirkungsgrad. Der Unterschied zwischen der Nutz-, Achsentriebs- und Rotationsarbeit macht es nothwendig, hier einen dreifachen Wirkungsgrad zu berücksichtigen:

I. in Bezug auf die Achsenarbeit:

$$\eta_I = \frac{L_I}{L_{II}} \quad \ldots \ldots \quad 37);$$

II. in Bezug auf die Rotationsarbeit:

$$\eta_{II} = \frac{L_I}{L_{III}} \quad \ldots \ldots \quad 38)$$

III. in Bezug auf die innere Arbeit:

$$\eta_{III} = \frac{L_{II}}{L_{III}} \quad \ldots \ldots \quad 39)$$

14. Widerstand des Schiffes. Ueber den Widerstand, welchen ein Schiff bei gegebener Geschwindigkeit zu überwinden hat, liegen nur sehr unbestimmte Anhaltspuncte vor, welche meist auf Erfahrungs-Resultaten basirend, nur dann einen halbwegs richtigen Schluss gestatten, wenn das Schiff, dessen Widerstand bestimmt werden soll, in der Construction möglichst nahe mit der eines Schiffes von bekannten Widerstandsverhältnissen übereinstimmt.

Der gebräuchliche Ausdruck für den Widerstand eines Schiffes ist

$$W = \zeta A v^2 \quad \ldots \ldots \quad 40),$$

worin ζ einen Erfahrungs-Coëfficienten, A das Areale des eingetauchten Hauptspants, v die Geschwindigkeit per Secunde bezeichnen.

Das kürzeste Verfahren, um mit Hilfe von analogen Erfahrungsdaten zu einem annähernd brauchbaren Werth des unbekannten Coëfficienten ζ zu gelangen, dürfte darin bestehen, dass man denselben aus der Leistung bei gleicher Geschwindigkeit, welche man für Schiffe derselben Gattung nahezu ermittelt hat, bestimmt.

Wäre in einem solchen Falle die Schiffsleistung

$$S_I = W_1 v = \zeta A_I v^3,$$

so fände man als Werth für ζ:

$$\zeta = \frac{S_I}{A_I v^3} \quad \ldots \ldots \quad 41).$$

15. Ermittlung der abhängigen Grössen. Bei der Construction eines Schrauben-Propellers wird vorausgesetzt, dass die Grössen c (gewöhnlich $= v$) und t bekannt, die Rotationszahl n bestimmt, endlich die Flügelzahl m, der Schraubenhalbmesser r, das Verhältniss s und die Länge l begrenzt gegeben sind, so, dass nur die Grössen m, l und r in ein entsprechendes Verhältniss gebracht, die Grösse k und der genaue Werth z ermittelt werden müssen.

Einige Rechnungsversuche führen da schneller zum Ziel als die Anwendung des höheren Calculs, weil bei der grossen Ausdehnung, welche im letzteren Falle die mathematischen Ausdrücke annehmen, deren Uebersichtlichkeit und Handsamkeit für den ausübenden Techniker verloren gehen.

Es ist gut, sich bei Ermittlung der abhängigen Grössen gegenwärtig zu halten, dass ein vortheilhafter Wirkungsgrad für innere Arbeit erreicht wird, wenn unter sonst gleichen Verhältnissen die Umsetzungsgrösse k möglichst klein ausfällt. — Dem kleinsten Werth von k entspricht aber offenbar der kleinste Werth l, weil das Verhältniss $\frac{k^2-1}{l}$ constant bleibt.

Nun ist aber wieder der kleinste Werth l jener, welcher aus Gleichung (23) hervorgeht, da l in keinem Falle kleiner als $2\varepsilon_{\beta_0} = 2y_{e_0}$ sein darf, überhaupt um eine genügende Stärke des Flügelansatzes an der Nabe zu erhalten, l mindestens $3\varepsilon_{\beta_0}$ bis $4\varepsilon_{\beta_0}$ sein muss.

Mit Hilfe der Gleichungen (5), (23), (29), (32) und (40), indem man bezüglich der beiden letzteren die Achsenkraft dem Schiffswiderstande gleichsetzt, findet man den genäherten Werth von l, welchen man durch eine geringe Correctur auf das nächste ganze oder gebrochene Mass bringt, damit die für die Modellirung nöthige Untertheilung dieser Grösse keine Schwierigkeiten darbiete.

Sind auf diese Art die Grössen r, s, m, l fest bestimmt, so hat man aus den vorerwähnten Gleichungen für die definitiven Werthe von z und k:

$$z = \left(\frac{4\pi n l}{c(k+1)} - \frac{1-s^2}{4}\right)\frac{\omega m}{2\pi} = \frac{2 g l \zeta A v^2}{c^2(k^2-1)\pi r^2(1-s^2)\gamma t \zeta_1} \quad \ldots \quad 42),$$

$$k = \frac{8\pi n l}{c(1-s^2)} - \sqrt{\left(\frac{8\pi n l}{c(1-s^2)}\right)^2 - \frac{16\pi n l}{c(1-s^2)} + 1 - \frac{16 g l \zeta A v^2}{\omega c^2 m r^2 \gamma t \zeta_1 (1-s^2)^2}} \quad 43).$$

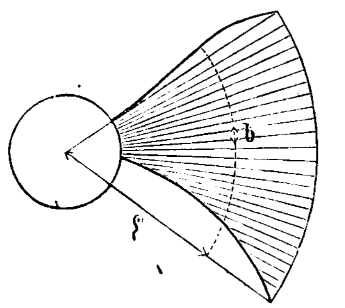
Nunmehr findet man den Werth von M aus (29), so dass alle für die Construction der Propellerfläche nöthigen Grössen bis auf den möglichst nahen Werth ω ermittelt sind.

Dort, wo die genaue Bestimmung dieses letzteren Werthes nöthig ist, z. B. bei kleinen Propellern mit grossem Achsentrieb, wo eine Differenz zwischen der nach (28) berechneten und der wirklichen Projectionsfläche eine Aenderung des Wirkungsresultates besorgen liesse, müsste man sich wohl dazu herbeilassen, das Verhältniss $\omega = \frac{f}{f_1}$ (28) durch die wirkliche Zeichnung der Projectionsfläche eines Flügels zu ermitteln und sodann noch einmal aus (42) u. (43) die definitiven, von den erst gefundenen gewöhnlich sehr wenig abweichenden Werthe von z und k zu bestimmen.

16. Metalldicke der Flügel. Bisher hat man, so scheint es wenigstens, die Metallstärke der Flügel eines Propellers nur nach der Erfahrung ermittelt, und, um sicher zu gehen, Stärken angewendet, welche in den meisten Fällen weit über die Grenzen der erforderlichen vollen Sicherheit hinausreichen.

Die hierdurch herbeigeführte Gewichtsvermehrung hatte nicht allein einen ungerechtfertigt grösseren Aufwand an Metall, sondern auch eine unnütze Mehrbelastung des Hinterschiffes zur Folge.

Fig. 9.



Bei der eben besprochenen Constructionsart der Schrauben-Propeller ist das Druckverhältniss für jeden Punct der Fläche, in jeder Stellung der Flügel bekannt, nämlich:

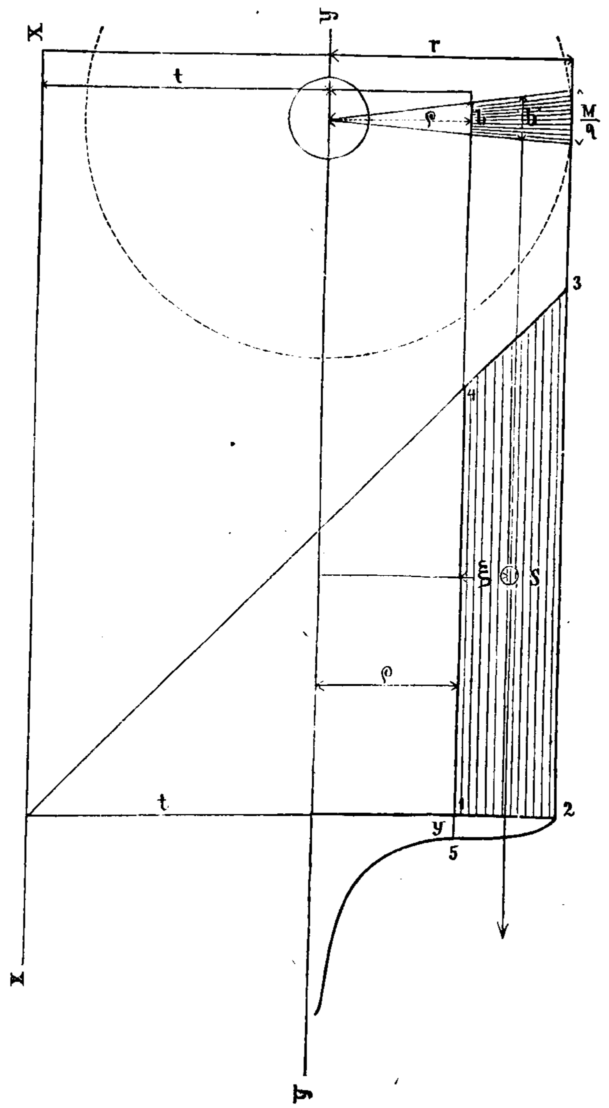
$$= \frac{c^2(k^2-1)}{2l}\cdot\frac{\gamma\tau}{g},$$

wo τ die Tiefe des betreffenden Punctes unter der Wasserfläche bezeichnet.

Die grösste Inanspruchnahme jedes Achsenschnittes findet in dem Augenblicke statt, in welchem derselbe durch die Symmetrie-Ebene des Schiffes unter dem Schraubencentrum hindurchgeht.

Wenn man sonach dem Flügel eine weitaus grössere Stärke gibt, als wie sie dieser grössten Inanspruchnahme

Fig. 10.



mit Rücksicht auf die gangbare volle Sicherheit zukommen würde, so dürfte man allen zur See vorkommenden Eventualitäten umsomehr gewachsen sein, als bei einer wissenschaftlich begründeten Constructionsdicke schon in der zweckmässigen Vertheilung des Materials eine hohe Bürgschaft der Sicherheit liegt. Denken wir uns Figur 9 den Flügel durch Achsenschnitte in sehr viele, am Umfang gleiche Theile von der Zahl q getheilt, so ist die Breite eines solchen Theiles in der Entfernung ρ vom Centrum:

$$b = \frac{M\rho}{q\,r}.$$

Suchen wir nun für einen solchen Flügelausschnitt, welcher sich eben in der bezeichneten Lage befindet, indem wir denselben in das Verhältniss eines Trägers mit rechteckigen Querschnitten und von gleichem Widerstande gegen Bruch versetzen, die Höhe y für die im Abstande ρ vom Centrum befindliche Bruchstelle, so stellen sich die Belastungs-, respective Druckverhältnisse folgendermassen dar:

Wenn man sich in Fig. 10 unter xx die Wasseroberfläche, unter yy die Lage der Propeller-Achse denkt, so hat man für alle Puncte in der Entfernung ρ von der Achse die Drucktiefe $t+\rho$, für den untersten Theil des Schraubenumfanges dagegen $t+r$.

Tragen wir uns nun in den entsprechenden Entfernungen diese Längen senkrecht zu der Richtung des Trägers auf und verbinden die Endpuncte, so erhalten wir in 1, 2, 3, 4 ein Trapez, welches den Mittelschnitt des Belastungskörpers darstellt.

(Schluss folgt.)

Literarische Rundschau.

Perkins combinirte Schiffsmaschinen.

Da angesichts der hohen Kohlenpreise die Frage nach öconomischeren Maschinen lebhaft in den Vordergrund tritt, so zieht auch gegenwärtig das Dampfboot „Filga", von welchem behauptet wurde, dass es nur 2 Pfund Wales-Kohle pro Pferdekraft verzehre, wogegen die übrigen Schiffe der kön. Marine deren 4·63 benöthigten, die Aufmerksamkeit bedeutend auf sich und deshalb erregt jeder dort aufgenommene Versuch über den Brennmaterialverbrauch ganz besonders das öffentliche Interesse.

Die „Filga" war ursprünglich ein Dampfboot, welches die Herren Perkins und Sohn ankauften und mit den gegenwärtigen Maschinen versahen, woher es kommt, dass Maschine und Schiffskörper nicht im richtigen Verhältniss zu einander stehen. Die Cylinder sind mit Dampfmänteln versehen; die zwei Niederdruck-Cylinder haben 30″ (762mm) Durchmesser, und über jedem derselben befindet sich ein Hochdruck-Cylinder von 381mm Durchmesser, in welchem sich zwei an derselben Kolbenstange festsitzende Kolben bewegen. Der Dampf tritt abwechselnd über den oberen und unter den unteren dieser Kolben und wird bei atmosphärischer Pressung endlich ganz condensirt, mittelst Oberflächencondensatoren, so dass das Wasser mit 100 Centimeter in den Kessel zurückgeleitet wird. Die Dampferzeugung geschieht in einem sogenannten Perkins'schen Sicherheitskessel, welcher aus $^5/_8$″ dicken und 3″ weiten, in horizontalen Lagen geordneten schmiedeisernen Rohren besteht, die unter sich durch verticale Stützen verbunden und aus 30 Sectionen von je 8 Reihen, wovon 7 über den Roststäben und eine unter denselben liegen, bestehen. Die Rohre wurden auf 2500 Pfund pro Quadratzoll Druck geprobt. Die Maschine, obgleich nur von 80 Pferden nominell, entwickelt 240 indicirte Pferdekräfte. Die Griffith-Schraube hat 3 Schaufeln, 8 Fuss (2·438m) Durchmesser und 11′ (3·353m) Steigung, welch' letztere nach mehreren Versuchen als die passendste befunden wurde.

Die „Filga" durchlief eine Probestrecke von 41 englischen Meilen (circa 8, 9 deutsche Meilen) in $4^1/_4$ Stunden, und zwar mit einer Geschwindigkeit von 9·47 Knoten pro Stunde im todten Wasser. Die Gesammtdauer von Hin- und Rückfahrt war 7 Stunden 40 Minuten, wobei der Dampfdruck von 185—260 Pfd. und die Zahl der Umdrehungen von 74 bis 89 variirte.

Die abgenommenen Indicator-Diagramme zeigen einen bedeutenden Druckverlust zwischen Maschinen und Kessel, indem bei ersterer der Druck blos 181 resp. 218 Pfund betrug, wogegen die Kesselspannung 250 Pfund war; hingegen zeigte sich der Verlust zwischen Hoch- und Niederdruck-Cylinder ziemlich gering. Die Leistung des Hochdruck-Cylinders in der einen Maschine betrug 55·35 Pferde, jene des Niederdruck-Cylinders 39·89 während sie bei der anderen Maschine resp. 68·79 und 41·46 waren, zusammen also 205·49 Pferdekraft.

Der Kohlenverbrauch war durchschnittlich 39·4 Pfund pro Stunde, daher sich in der That 2 Pfund pro Stunde und Pferdekraft ergeben.

Es muss jedoch bemerkt werden, dass die Diagramme nicht in der erforderlichen Zahl und vielleicht auch nicht mit der nöthigen Genauigkeit entnommen wurden, so dass hierüber, sowie über den ganzen Kohlen- und Wasserverbrauch noch immer gewisse Zweifel gestattet sein dürften. Uebrigens ist das Schiff durchaus nicht günstig gebaut und lassen sich genaue Resultate ja nur bei einer überhaupt correct durchgeführten Probe erwarten.

(Engineering, 6. September 1872.

Kessel für Verschieb-Maschinen der London- und Nordwest-Bahn für Anthracit-Kohle mit Wasserrost.

Der Typus der cylindrischen innenliegenden Firebox wurde zuerst von Ramsbottom aufgestellt und erhielt nun durch Webb's Wasserrost eine neue Verbesserung. Letzterer besteht aus zwei Lagen von 13 wechselständig angeordneten schmiedeisernen Rohren von $1^7/_8$″ mit $^1/_{76}$ Steigung, welche in der Rohrwand ähnlich den gewöhnlichen Rauchrohren einerseits fest sitzen, andererseits die Stirnwand des Kessels unter der Feuerthüre durchdringen und in eine gemeinschaftliche Kammer aus Metall münden. Die hiedurch ermöglichte Wassercirculation wird noch dadurch wesentlich befördert, dass zwei der Rohre ausserhalb der Rohrwand ihre Fortsetzung durch abwärts gebogene Stutzen finden, welche das Wasser vom tiefsten Puncte des Kessels aufzunehmen gestatten, während gleichzeitig die erwähnte Kammer durch 2 aufwärtsführende Rohre mit dem Dampfraume in Verbindung steht. Die Box oder vielmehr das Boxrohr ist nur in der Mitte durch einen Winkeleisenring versteift. Um noch eine weitere Erleichterung in der Circulation und zugleich eine Schonung der Box an der Feuerbrücke zu erzielen, bog Mr. Webb an der betreffenden Stelle zwei leichte, etwa 8″ von einander entfernte Winkel herum, welche durch ein dünnes Blech bedeckt werden, und nur Oeffnungen am höchsten und tiefsten Puncte besitzen.

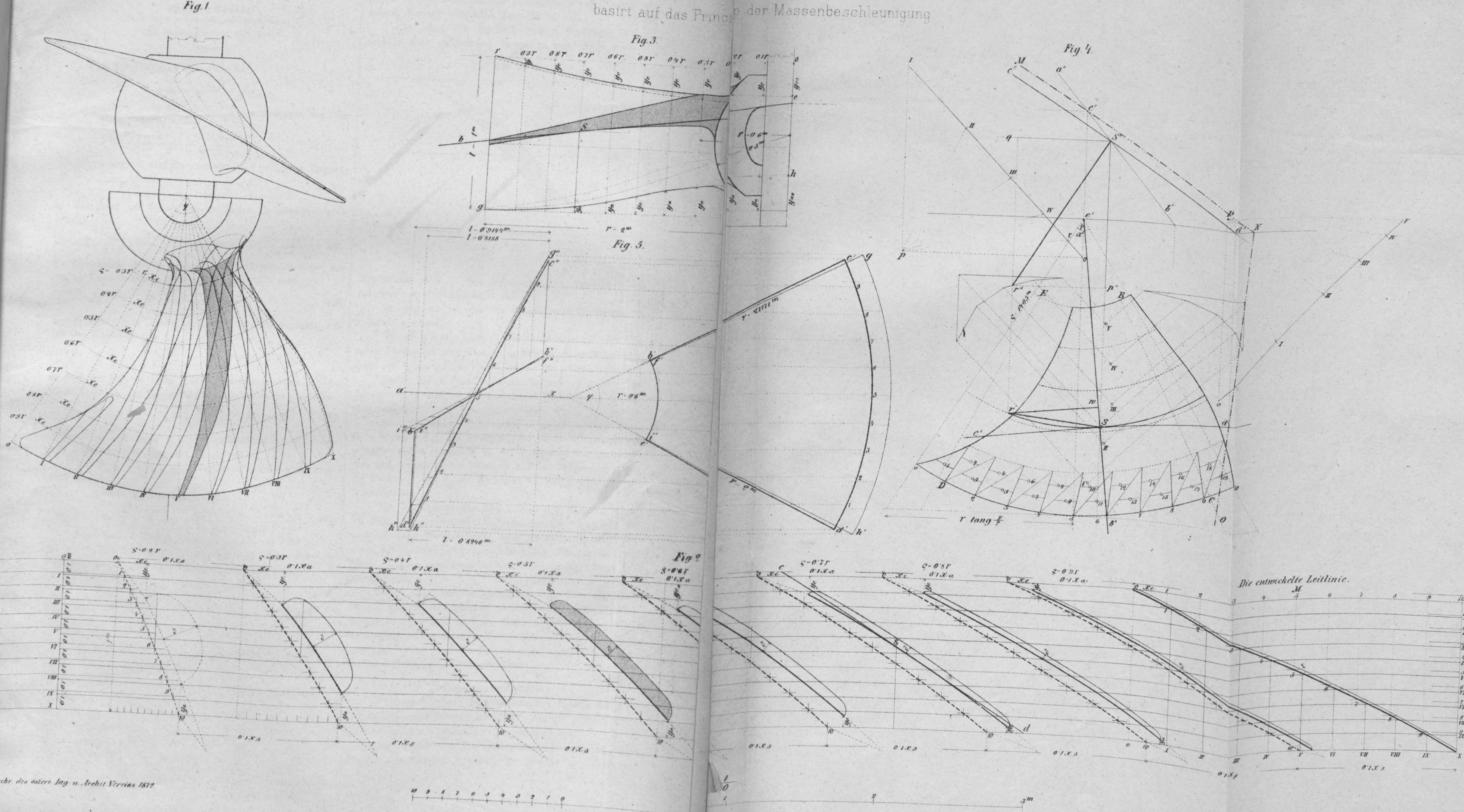
Die erzielten Resultate sind sehr günstig, nämlich 9·37 Pfund Dampf bei Anthracit, und 8·15 bei bester Staffordshire Kohle pro Pfund Brennstoff.

Die Platten des Kessels sind $^3/_8$″ starkes Stahlblech, die Rohrwände sind $^3/_4$″ stark.

(Engineering, 4. October 1872.)

TH. KADAŘZ VARIANTE DES SCHRAUBEN-PROPELLERS

basirt auf das Princip der Massenbeschleunigung



Rv Waldheim, art. Anst. Wien.